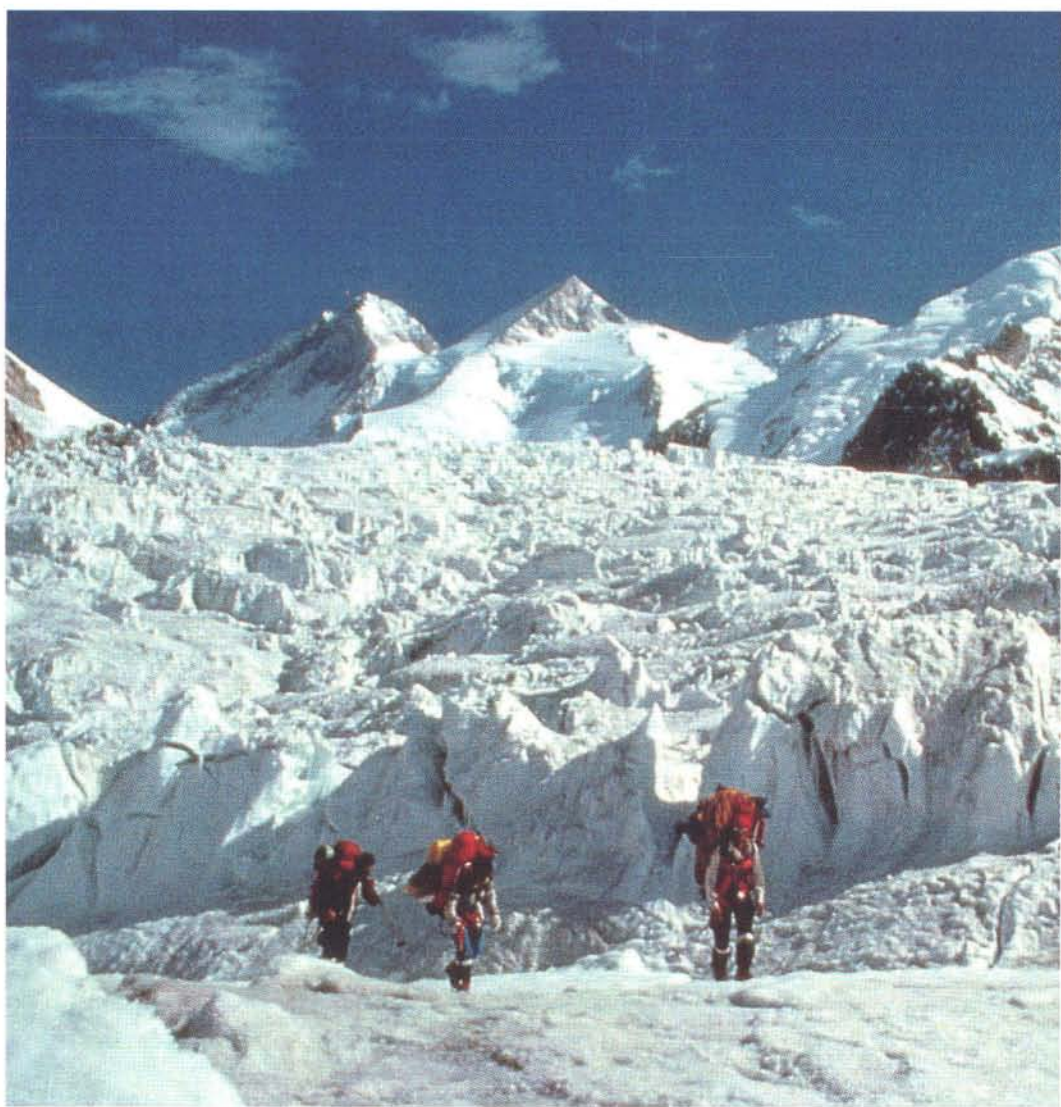


7

56<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '88 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

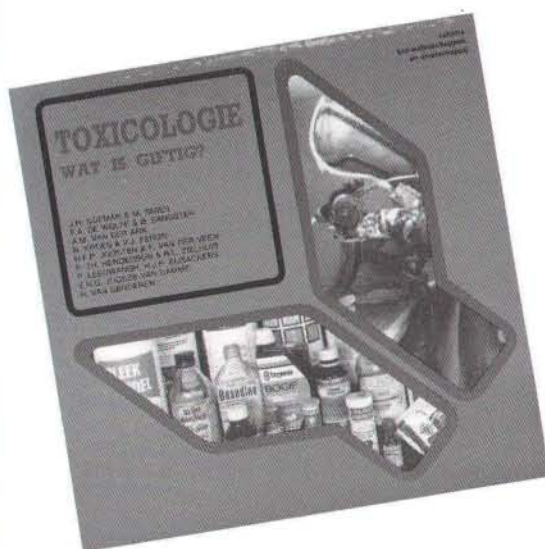


**AANPASSING AAN GROTE HOOGTEN/** IN DE PORSELEINKAST VAN  
DE MIDDELEEUEW/ BRUIN OF VERBRAND/ DE KATALYSATOR/ DE BONTE BERM/  
SCHEEPSSTABILITEIT

## Toxicologie Wat is giftig?

Tegenwoordig levert de chemische industrie meer dan 45 000 verschillende producten, zoals kunststoffen, gewasbeschermingsmiddelen, kunstmest, geneesmiddelen, geur- en smaakstoffen. Men spreekt in dat verband wel van de chemicalisering van de maatschappij. De beschikbaarheid van allerlei stoffen die economisch nuttig zijn en/of het leven veraangenamen, heeft een keerzijde. Kunnen die stoffen de gezondheid schaden als je ermee in aanraking komt? In hoeverre zijn ze giftig? In principe is iedere stof boven een bepaalde dosis giftig. Kennis over de werking van giftige stoffen wordt vergaard door toxicologen. Het werkgebied van deze onderzoekers is zeer breed, het omvat zowel de invloed van giftige stoffen op cellen en organen, alsook de effecten ervan op complete ecosystemen. Al deze aspecten komen in dit cahier aan de orde.

**Zojuist  
verschenen**



### Inhoud

#### **Wat is giftig?**

J.H. Koeman en M. Smies

#### **Vergiftigingen**

F.A. de Wolff en B. Sangster

#### **Het gerechtelijk laboratorium**

A.M. van der Ark

#### **Voeding**

R. Kroes en V.J. Feron

#### **Geneesmiddelen**

H.F.P. Joosten en F. van der Veen

#### **Arbeid**

P.Th. Henderson en R.L. Zielhuis

#### **Milieu**

P. Leeuwangh, H.P.J. Eijssackers  
en E.N.G. Joosse-van Damme

#### **Slotbeschouwing**

H. van Genderen

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 4 van de 12e jaargang.

Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Thermen – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.



# NATUUR '88 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 10,00 of 200 F.



## Bij de omslag

**Bij een verblijf hoog in de bergen speelt het zuurstoftekort door de ijle lucht menigeen parten. De klachten variëren van hoofdpijn en misselijkheid tot zeer ernstige oedemen en gaan meestal pas over als men naar normaler hoogten afdaalt. Meer hierover leest u op pag. 562-577.**

(Foto: Reinhold Messner/Stern, ABC-press, Amsterdam).

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Drs C.F.M. de Roos, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluys, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rorsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van *Natuur en Techniek* in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-1223\*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044\*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

**EURO**  
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin *NATUUR EN TECHNIEK* samenwerkt met *ENDEAVOUR* (GB), *LA RECHERCHE* (F), *BILD DER WISSENSCHAFT* (D), *SCIENZA E TECNICA* (I), *TECHNOLOGY IRELAND* (EI), *PERISCOPE TIS EPISTIMIS* (GR) en *MUNDO SCIENTIFICO* (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



**Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**

---

# INHOUD

---

|              |      |
|--------------|------|
| ACTUEEL      | IV   |
| AUTEURS      | VIII |
| HOOFDARTIKEL | 525  |
| Vakantie     |      |

---

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>BRUIN OF VERBRAND</b> | 526 |
|--------------------------|-----|

---

UV-straling op de huid

**W.F. Passchier**

De zon is de bron van alle leven en bedrijvigheid op aarde. Zij biedt echter meer dan licht en warmte en zorgt onder andere voor ultraviolette straling. Het is deze straling die de blanke huid bruint, maar ook rood doet verbranden. Een gebruind lijf geldt voor velen als een schoonheidsideaal. Het verlangen ernaar is zo groot dat mensen zich kunstzonnen aanschaffen om minder afhankelijk te zijn van de zon. Het zonnen heeft echter ook een keerzijde: ultraviolette straling op de huid leidt op den duur tot huidveroudering en huidkanker.



---

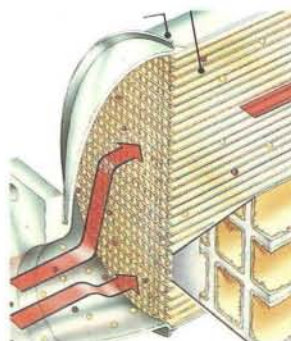
|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>DE KATALYSATOR</b> | 538 |
|-----------------------|-----|

---

in de uitlaat

**C.M.A.M. Mesters en A.H. Joustra**

De atmosfeer die de aarde omringt is van levensbelang voor planten, dieren en mensen. Lucht heeft echter ook een grote economische betekenis. Luchtverontreiniging kan de gezondheid van mensen en dieren, de groei van planten en de kwaliteit van de bodem en het grondwater beïnvloeden. Het is een mondiaal probleem. De transportsector is, wereldwijd, verantwoordelijk voor een grote hoeveelheid verontreinigingen aan stikstofoxiden, koolmonoxyden en koolwaterstoffen. Katalysatoren in auto-uitlaten kunnen deze stoffen effectief afbreken.



---

|                      |     |
|----------------------|-----|
| <b>DE BONTE BERM</b> | 550 |
|----------------------|-----|

---

**H.P.M. Hillegers**

De meeste weggebruikers zoeven er langs. Soms, bij overweldigende kleurenpracht, maakt men er naar elkaar een enkele opmerking over. Natuurliefhebbers krijgen echter steeds meer belangstelling voor de flora en fauna van wegbermen. De verklaring voor het bijzondere karakter daarvan ligt in de verarming van het cultuurlandschap, waardoor veel soorten die vroeger op akkers en weiden voorkwamen, in de berm 'gedrukt' worden. Daar kunnen ze zich nog handhaven. Door een zorgvuldig beheer, zo heeft men de afgelopen jaren geleerd, kan de wegkant weer bont worden.





# NATUUR '88 & TECHNIEK

juli/ 56<sup>e</sup> jaargang/1988



## SNAKKEND NAAR ADEM

562

Aanpassing aan grote hoogten

J-P. Richalet

Ook deze zomer zullen weer veel mensen de bergen in trekken. Als ze hoog genoeg komen, zullen ze op de een of andere manier geconfronteerd worden met ijle lucht. In het lichaam ontstaat dan een tekort aan zuurstof, wat vooral te merken is bij stevige inspanningen. Sommige mensen passen zich moeiteloos aan de veranderde omstandigheden aan, anderen moeten een paar dagen wennen en weer anderen wennen nooit en worden ziek. Welke veranderingen treden er in ons lichaam op en wat zijn de ziekteverschijnselen?



## SCHEEPSSTABILITEIT

578

J.D. van der Baan

Bij twee grote scheepsrampen, in 1628 en in 1987, kapseisden schepen bij het verlaten van de haven. Veel mensen verloren het leven. Beide ongelukken hadden in zekere zin dezelfde oorzaak. De ramp met de 'Herald of Free Enterprise' ligt nog vers in het geheugen. Het schip bleek instabiel te zijn. Dat gold ook voor het splinternieuwe Zweedse oorlogsschip 'Wasa', dat in 1628, na nog geen zeemijl gevaren te hebben, ten onder ging. Toch is er een verschil: de 'Wasa' was verkeerd ontworpen, de 'Herald of Free Enterprise' verloor zijn stabiliteit door een fout van de gezagvoerder.



## IN DE PORSELEINKAST VAN DE MIDDELEEUEW

590

F. Verhaeghe

Archeologie wordt vaak geassocieerd met scherven en inderdaad, archeologen hebben vaak met, meestal gebroken, aardewerk te maken. De vindplaats, de vorm, de gebruikte baktechnieken en andere details vertellen veel over de mensen die het goed gebruikten of produceerden, hun cultuur, de productie- en concurrentieverhoudingen, het dagelijks leven, de handel, de stand van de techniek en zelfs het sociaal gedrag. Dat komt bijvoorbeeld tot uiting in de 'hoogversierde' ceramiek, een bijzonder soort aardewerk dat het betere serviesgoed van de 13de en 14de eeuwse burger vormde. Met name in Vlaanderen werd het veel geproduceerd en de pottenbakkers bezetten er een eigen marktsegment mee, waarmee ze concurreerden met collega's elders.

## ANALYSE EN KATALYSE

600

Straling op je bord?/De metamorfose van het medicijn.

## BEZIENSWAARDIG/PRIJSVRAAG/FOTO VAN DE MAAND

610

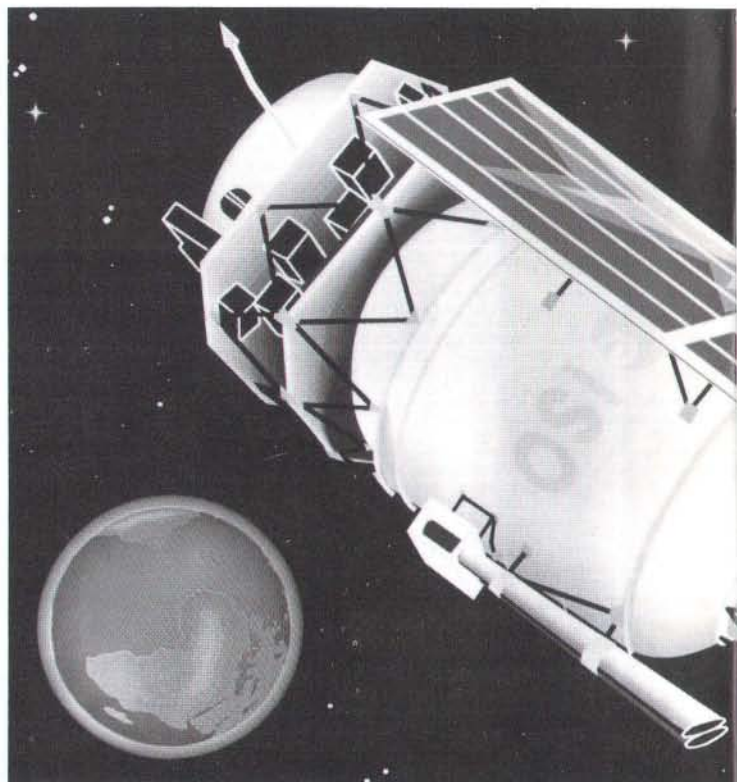
# ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving  
natuur en techniek

## ISO in voetspoor IRAS

Infrared Space Observatory (ISO) is de naam van de satelliet die in de eerste helft van 1993 de succesvolle IRAS-missie een vervolg moet geven. Onlangs is besloten om daadwerkelijk met de bouw van de satelliet te starten, waarmee ongeveer één miljard gulden (20 miljard BFr) is gemoeid. Voor de Europese ruimtevaartorganisatie ESA maakt dit project deel uit van het Science Program.

Door de aanwezigheid van de atmosfeer is het vrijwel onmogelijk om vanaf de aarde infraroodbronnen aan de hemel waar te nemen. Observatie vanuit een ballon op 42 km hoogte is weliswaar mogelijk, maar ook daar zijn de omstandigheden nog zo ongunstig dat een diepgekoelde telescoop in het heelal een paar seconden doet over een meting waar apparatuur in een ballon-gondel 24 uur voor nodig heeft. Het is de bedoeling dat ISO bij golflengten tussen 3 en 200 micrometer ( $\mu\text{m}$ ) op zoek gaat naar planeten rondom andere sterren en de geboorte van nieuwe sterren in dichte, interstellair stofwolken gaat bestuderen. Het infrarood vormt voor astronomen een interessant gebied, omdat door waarneming van infraroodstraling de 'koude' voorstadia bij de geboorte van nieuwe sterren bestudeerd kunnen worden. Ook bij 'botsingen' tussen melkwegstelsels treden in het infrarood interessante verschijnselen op. Omdat alle materialen van nature meer infraroodstraling uitzenden naarmate hun temperatuur hoger is, is het noodzakelijk dat alle onderdelen van ISO gekoeld worden



tot  $-271^{\circ}\text{C}$ . Daartoe neemt de satelliet 2300 liter vloeibaar helium mee, waarmee de satelliet minstens 18 maanden koud moet blijven. Eigenlijk is ISO een reusachtige vijf meter hoge thermoskan waar een telescoop met spiegel-diameter van 60 cm in zit. De opgevangen straling wordt naar vier instrumenten gevoerd om daar te worden geanalyseerd. Eén ervan is de spectrometer van dr. Thijs de Graauw van het Laboratorium voor Ruimteonderzoek uit Groningen. Deze spectrometer gaat straling tussen 3 en  $45\ \mu\text{m}$  waarnemen. De overige drie experimenten komen uit

Frankrijk (Service d'Astrophysique, CEN-Saclay), de Bondsrepubliek Duitsland (Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg) en Groot-Brittannië (Queen Mary College, Londen).

De Franse firma Aerospatiale gaat de satelliet samen met ongeveer 35 onderaannemers bouwen. Onder hen is Fokker (hoogte- en baan-controle) en het IMEC in Leuven, dat de speciale elektronica voor de gevoelige infraroodsensoren levert.

ISO moet in de voetsporen treden van de succesvolle IRAS (Infrared Astronomical Satellite) die in 1983 bij vier golflengten (12, 25,



Het 'zonnenscherm' op de ISO beschermt de cryostaat tegen de zonnestraling. Daarnaast zijn op het oppervlak zonnecollectoren aangebracht die elektrische energie leveren. (Tekening: ESA/MPG).



60 en 100  $\mu\text{m}$ ) de gegevens voor de infrarood-overzichtskaart leverde. De bedoeling is dat ISO met een duizendmaal betere gevoeligheid een groot aantal geselecteerde objecten beter en over een breder golflengtegebied zal opmeten.

In april 1993 moet een met vier vaste-brandstofmotoren versterkte Ariane-4 raket ISO in een baan rond de aarde brengen. De hoogte van de baan varieert tussen 1000 en 70000 km boven de aarde.

(Persberichten Max-Planck-Gesellschaft en ESA)

## Eerste Ariane-4 succesvol

De Europese ruimtevaartorganisatie ESA heeft op 15 juni met succes drie satellieten in een baan om de aarde gebracht. De lanceering, vanaf de lanceerplaats Kourou in Frans Guyana, vond plaats met een nieuw type raket, de Ariane-4.

Met deze nieuwe raket is het mogelijk om ladingen tussen 1900 en 4200 kg – tweemaal zo zwaar als de Ariane-3 – in een baan om de aarde te plaatsen. De raket kan extra vermogen krijgen door aan de eerste trap maximaal vier boosters te koppelen, die bestaan uit vaste- of vloeibare-brandstofmotoren. De eerste bevatten 9,5 ton brandstof, hebben een hefvermogen van 650 kN en branden 42 seconden. De vloeibare-brandstofboosters hebben 39 ton hydrazine en  $\text{N}_2\text{O}_4$ , een hefvermogen van 750 kN en werken 143 seconden. Er bestaan zes verschillende uitvoeringen, zodat de lanceerraket 'op maat gesneden' kan worden, al naar gelang de last die omhoog moet en de plaats waar de lading moet worden afgeleverd.

De verschillen met Ariane-3 zijn onder meer: een brandduur van de eerste trap die de helft langer is; 234 in plaats van 148 ton brandstof; een grotere ruimte om satellieten mee te nemen; een nieuwe installatie (SPELDA) om meervoudige lanceringen van satellieten mogelijk te maken. Enige verdere 'maten' van Ariane 4 zijn: hoogte 60 m, leeg gewicht 43 ton, maximum gewicht 480 ton, maximaal vermogen bij lancering 5370 kN.

Het ontwikkelingsprogramma heeft 485 miljoen Europese rekeneenheden (ECU) gekost, zo'n 550 miljoen dollar. Bij de bouw zijn enige Belgische en Nederlandse firma's betrokken geweest. Zo leverde ETCA onderdelen voor het satellietgedeelte, SABCA was, evenals FN, betrok-

ken bij de fabricage van diverse motoronderdelen, terwijl Fokker bijdroeg aan het samenstellen van de vloeibare-brandstofmotoren en de derde trap.

Tijdens de eerste commerciële vlucht zijn drie satellieten gelanceerd. De weersatelliet Meteosat P2 (700 kg) vormt een aanvulling op de Meteosat F2 en volgt de F2 op, wanneer deze het begeeft. De F2 zendt ieder half uur beelden vanaf zijn geostationaire positie boven de nulmeridiaan naar de meteostations, beelden die we vaak in het weerbericht op TV zien. Verder heeft de F2 het LASSO-experiment aan boord waarmee metingen aan laserstralen worden gedaan, die vanaf verschillende posities op aarde naar de satelliet worden gezonden. De AMSAT III-C (150 kg zwaar) is een satelliet, in een elliptische baan, waarmee zo'n 7000 radioamateurs onderling contact over de 144 MHz-band kunnen hebben. Ook wordt de satelliet gebruikt voor educatieve doeleinden en om nieuwe communicatietechnieken in de ruimte te testen. De Pan American Satellite (PAS 1 met een aards gewicht van 1220 kg) is de eerste satelliet in privé handen. De internationale communicatiefirma Alpha Lyracom wil met PAS 1 telecommunicatie – of dit nu stemmen, data, videobeelden of faxberichten zijn – mogelijk maken tussen Zuid-Amerika, Noord-Amerika en Europa. De satelliet is geostationair en vliegt dus zo snel dat ze een vaste positie boven de aarde houdt.

ESA verwacht met de Ariane-4 tot aan het eind van deze eeuw de helft van de markt voor lanceringen, bij toenemende concurrentie, in handen te houden. Arianeespace, verantwoordelijk voor het programma, heeft inmiddels 20 raketten van dit type besteld om 42 satellieten in de ruimte te brengen, terwijl nog bekeken wordt of dit kan oplopen tot 70.

Jacques Verduijn

## Risico's gemanipuleerde bacteriën getest

Via verandering van het erfelijk materiaal is het tegenwoordig mogelijk aan organismen eigenschappen toe te voegen. Bij het Wageningse onderzoeksinstituut ITAL wordt op dit moment onderzocht welke risico's er verbonden zijn aan het gebruik van genetisch veranderde bacteriën in de vrije natuur. In de landbouw wordt vooral voor ziektebestrijding gebruik gemaakt van bacteriën. Daarnaast spelen ook bodembacteriën een belangrijke rol in de plantevoeding. Door genetische veranderingen zouden deze bacteriën beter geschikt gemaakt kunnen worden voor hun werk. Binnen en buiten de wetenschap is men beducht en terughoudend om deze bacteriën in de landbouw toe te passen. Men wil meer weten over de risico's voor het milieu en het ecosysteem. Dr J.A. van Veen van het ITAL: "Je brengt tenslotte totaal nieuwe genetische combinaties tot stand in organismen, die zich kunnen voortplanten. Je kunt nooit alle risico's aangeven, maar je moet wel goed weten waar je mee bezig bent, om de gevaren binnen de perken te houden. Op andere terreinen zijn we allang aan veiligheidsnormen gewend, zoals bij het reizen met vliegtuigen of het gebruik van medicijnen. Waar wij naar toe willen is een protocol als bij de introductie van geneesmiddelen. We moeten voor het veilig werken met nieuwe bacteriën een goede inschatting kunnen maken van de risico's".

Bij het ITAL gaat men nu onderzoek uitvoeren om de grootte van de risico's te kunnen bepalen. De resultaten gaan in eerste instantie naar de 'ad-hoc commissie recombinant-DNA', die alle aanvragen van wetenschappers om met gemanipuleerde bacteriën te mogen werken behandelt. Deze commissie heeft ook toestemming gegeven voor het risico-

onderzoek met bodembacteriën. Tijdens het onderzoek probeert men vragen te beantwoorden als: kan een nieuwe bodembacterie overleven in de bodem; wordt het nieuwe genetisch materiaal overgedragen; wat is precies de werking van het nieuwe genproduct; bestaat de mogelijkheid van 'fysisch transport' van de bacterie naar bijvoorbeeld het grondwater?

Aan de hand van de antwoorden op deze vraag is het mogelijk, stelt Van Veen, om een schatting te geven van het eventuele gevaar voor het ecosysteem. Uit onderzoek van het ITAL is reeds gebleken dat het bodemtype van invloed kan zijn op de overleving van het nieuwe organisme. Verder blijkt de overdracht van genetisch materiaal in de bodem wel degelijk mogelijk en bij sommige bacteriën wordt ze zelfs gestimuleerd in de directe omgeving van plantewortels. In risico-analyses zal derhalve geëist moeten worden dat met die factoren rekening wordt gehouden.

Het is mogelijk bacteriën zo te veranderen dat ze – na verloop van tijd en na uitvoering van hun specifieke taken – vanzelf afsterven. Ze zouden zo geconstrueerd worden dat ze bijvoorbeeld kou niet overleven. Het is ook dan nog zaak na te gaan wat er met de resten van de gemanipuleerde bacterie gebeurt. Dat kan niet tot op het micro-organisme nauwkeurig, want het is onmogelijk om de miljoenen micro-organismen die een kubieke centimeter grond bevolken nauwkeurig in kaart te brengen. De onrust die ontstaat over het gebruik van gemanipuleerde bacteriën vindt dan ook daar grotendeels haar oorsprong: er kan geen verklaring worden afgegeven dat de gebruikte bacterie of het nieuwe genetisch materiaal totaal verdwenen is en absoluut geen 'bijwerking'

meer heeft op andere micro-organismen en dus op de ecologie van de bodem.

Dr Van Veen: "We gaan ervan uit dat de bufferwerking van de grond zo groot is dat door het gebruik van gemanipuleerde micro-organismen het ecosysteem nooit ernstig verstoord kan worden. Wel kan op bepaalde onderdelen verstoring optreden. Om dit te voorkomen is meer inzicht noodzakelijk, waarvoor we binnen strikte marges experimenten uitvoeren. Alleen door experimenten kunnen we informatie verkrijgen om verantwoorde schattingen te kunnen maken van de risico's die de toepassing van gemanipuleerde bacteriën met zich mee brengen".

*Nieuws uit Wageningen*





## Wandelende tak

In het Noorder Dierenpark te Emmen is in een Aziëhuis ook een insectarium in aanbouw. Het dierenpark is al begonnen met het verzamelen van een aantal bijzondere Aziatische insecten, om ervaring op te doen en om er alvast mee te fokken.

Een vrouwtje reuze-wandelende tak (*Heteropteryx dilatata*) vormt de eerste aanwinst. Het is het op één na zwaarste insect ter wereld, in gewicht alleen nog overtroffen door de Goliathkever. Het vrouwtje is direct na aankomst al begonnen met het leggen van eieren, zo'n 25 stuks in totaal tot dusverre. Het zal echter maar liefst 22 maanden duren voordat die uitkomen. Even lang als de draagtijd van een olifant.

Net als bij de meeste wandelende takken is ook bij deze reuzesoort

voor de voortplanting geen mannetje nodig. Zonder ooit een man gezien te hebben, legt het vrouwtje eieren waar jongen uitkomen. Soms vindt er wel een echte paring plaats. De jongen worden dan 8 maanden eerder geboren. Een merkwaardig verschijnsel waar men nog geen verklaring voor heeft gevonden.

Het vrouwtje van de reuze-wandelende tak is vele malen zwaarder dan het mannetje. Haar taille is wel vier maal zo dik als die van hem. Het mannetje heeft daarentegen grote vleugels waarmee hij kan vliegen. Het vrouwtje heeft hele kleine vleugeltjes, die geen vliegfunctie hebben, maar alleen dienen om een angstaanjagend geratel mee voort te brengen. Mocht dit nog niet genoeg zijn om een eventuele belager op de vlucht te jagen, dan neemt ze een indrukwekkende dreighouding aan: het achterlichaam omhoog gekruld waarbij alle stekels op de

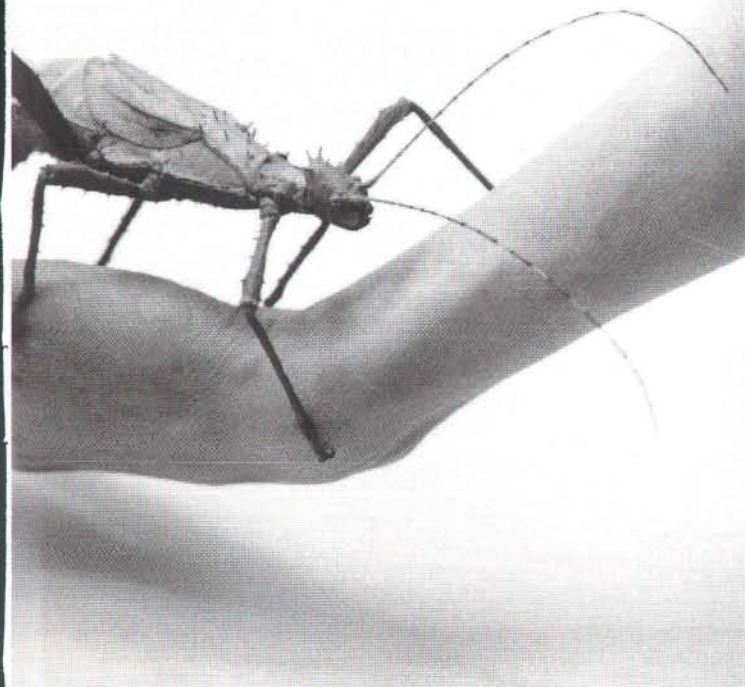
achterpoten en het achterlijf goed in zicht komen. Straks zullen de kinderen van deze reuzin een plaatsje krijgen in het nieuwe insectarium. Moeder zelf zal het niet meemaken, want ouder dan een jaar wordt ze niet en ze heeft nu zeker al een half leven achter de rug. Een jaar is voor een insect trouwens een erg hoge leeftijd. De reuze-wandelende tak is te bewonderen in het fokcentrum van het park. Daar hoort ze thuis, zo lang ze legt tenminste.

(Persbericht Noorder  
Dierenpark, Emmen)

## Vlinders kweken

In de vlindertuin van het Noorder Dierenpark te Emmen fladderen een tiental heel bijzondere vlinders rond. Het zijn zeldzame Aziatische vogelvlinders (*Troides cuneifer*), die behoren tot de grootste pagesoorten ter wereld. Deze uitermate fraaie vlindersoort is in de vrije natuur zo ernstig bedreigd, dat zij nu in speciale vlinderfarms in Azië wordt gekweekt om te voorkomen dat zij uitsterft door ongebreidelde vangst voor verzamelaars. Uit een van deze farms is een aantal poppen in de Emmer dierentuin aangekomen. De vlinderkwekers doen hun uiterste best de uit de pop gekropen vogelvlinders aan het leggen te krijgen. Omdat er geen spontane paring plaatsvond, zijn ze er toe overgegaan de vrouwtjes en de mannetjes met de hand te 'koppelen'. Een heel precies karweitje. Nadat zo kunstmatig contact tot stand is gebracht, wordt het echtpaar op een rustig plaatsje aan een plant gehangen om daar de paring, die zo'n anderhalf uur in beslag neemt, te voltooien. Het wachten is nu op de eitjes, zodat de cyclus weer van voren af aan kan beginnen.

(Persbericht Noorder  
Dierenpark, Emmen)



# Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

## Voedsel- conservering

Het gebruik van straling als middel om voedsel te conserveren en ziektekiemen te elimineren, staat de laatste tijd weer volop in de belangstelling. Met het steeds vaker voorkomen van voedselvergiftigingen, zijn maatregelen dringend geboden. Wat zijn de voor- en nadelen van doorstraling en hoe denken betrokkenen als consumentenorganisaties, de voedingsmiddelenindustrie en de overheid erover?

### Een greep uit de inhoud:

#### Voedselconservering

H. Labots

#### Besmetting van ons voedsel

H.J. Beckers

#### Toelatingsbeleid in Nederland

R.M. Ulmann

#### Voedseldoorstraling in mondiaal perspectief

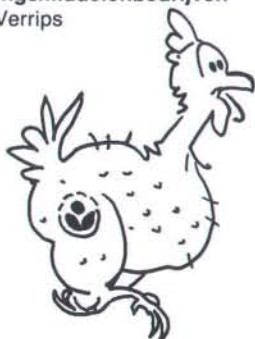
J. Farkas

#### Consumentenbond: alert blijven

G.J.P. Huis in 't Veld

#### Toepassing door voedingsmiddelenbedrijven

C.T. Verrips



Het cahier **VOEDSELCONSERVERING** kan besteld worden bij Natuur en Techniek, Postbus 415, 6200 AK Maastricht, tel. 043-254044, vanuit België: 00-3143254044. Het kost f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

### AUTEURS

**Dr W.F. Passchier** ('Bruin') is op 23 juli 1944 in Rotterdam geboren. Hij studeerde fysische chemie aan de Rijksuniversiteit te Leiden, waar hij in 1978 promoveerde. Sinds 1983 is hij secretaris bij de Gezondheidsraad in 's-Gravenhage met als aandachtsgebieden stralingshygiëne en algemene risico-evaluatie.

**Dr C.M.A.M. Mesters** ('De katalysator') is geboren in Meerssen op 5 september 1956. Hij studeerde scheikunde aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. Na zijn promotie aldaar trad hij in 1984 in dienst van het Koninklijke Shell Laboratorium in Amsterdam als research-chemicus katalyse.

**Drs A.H. Joustra** ('De katalysator') is op 19 september 1934 in Eindhoven geboren. Zij studeerde scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam van 1965 tot 1970. Voor haar studie was zij al werkzaam in de chemische industrie. Na haar afstuderen trad zij in dienst van het Koninklijk Shell Laboratorium in Amsterdam.

**Drs H.P.M. Hillegers** ('De bonte berm') is op 24 maart 1940 in Meerssen geboren. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit te Groningen van 1964 tot 1969. Daarna was hij enige tijd werkzaam als leraar. Momenteel werkt hij aan een vegetatiekundig proefschrift over typisch Limburgse terreinen.

**Dr J.-P. Richalet** ('Snakkend naar adem') is hoofd van de afdeling fysiologie van de medische faculteit in Créteil bij Parijs. Hij is de drijvende kracht achter de Association pour la recherche en physiologie de l'environnement (ARPE), die is gespecialiseerd in het bestuderen van de fysiologische en pathologische verschijnselen die samenhangen met het verblijf op grote hoogten.

**Ir J.D. van der Baan** ('Scheepsstabiliteit') is geboren in Haarlem op 2 maart 1939. Hij studeerde werktuigbouwkunde aan de TH in Delft. Van 1969 tot 1979 ontwikkelde hij dieselmotoren voor diverse werven. Sindsdien is hij projectleider bij het Maritiem Research Instituut Nederland in Wageningen.

**Prof dr F. Verhaeghe** ('Porseleinkast') is geboren in Mechelen op 9 augustus 1945. Hij studeerde geschiedenis en archeologie aan de Rijksuniversiteit in Gent, waar hij in 1977 promoveerde. Sindsdien is hij bevoegdverklaard navorser bij het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek. Hij doceert deeltijds aan de Vrije Universiteit te Brussel.



# Vakantie

De wetenschap doordringt geleidelijk aan elk aspect van ons bestaan. We kunnen geen hap of slok meer van iets nemen zonder ons bewust te zijn dat er een heirleger van voedingsdeskundigen, voedseltechnologen, chemici, biochemici en medici van allerhande slag op de achtergrond aanwezig is. Vermoedelijk hoofdschuddend.

Wie dacht dat alles nu eens voor een paar weken achter zich te kunnen laten en in de vakantie los te komen van de wetenschap, komt, dat toont dit nummer onomstotelijk aan, bedrogen uit. Zelfs de simpelste aller toeristen, degene die zich laat verleiden door de uitnodiging 'zachte berm' – of, mocht het vrije-tijdspad door een Angelsaksisch taalgebied leiden, het bijna onweerstaanbare 'soft shoulder' – krijgt van H.P.M. Hillegers in dit nummer wetenschappelijke rugdekking. Zo'n zachte schouder is er niet zomaar voor de lol, het is een biologisch interessant fenomeen – en wie zal dat na lezing nog kunnen ontkennen of zelfs maar negeren? Kennis is een onontkoombaar bezit; wie eenmaal iets weet, kan niet meer leven als tevoren.

Ook de volgende trede in de hiërarchie van de vrij-tijdsbesteders, de lekker-lui-aan-het-strand-liggers, zijn dit jaar onder streng wetenschappelijk toezicht geplaatst. Terecht natuurlijk, want het is gebleken dat lekker lui in de zon liggen geenszins een onschuldige tijdpassering is. Integendeel, het zou weleens bijna even gevaarlijk kunnen zijn als vermeend halsbrekende activiteiten als bergbeklimmen, wildwaterkanoën en zeezeilen (categorieën waarbinnen vermoedelijk alleen kenners de nuances zien). W.F. Passchier vertelt op pag. 526 wat eigenlijk iedereen over zonnebaden en huidkanker zou moeten weten.

C.M.A.M. Mesters en A.H. Joustra zitten bij wijze van spreken op de achterbank als we met de auto op weg zijn van of naar onze vakantiebestemming. Ze wijzen ons op de massale sterfte in een aantal bossen onderweg en op het aandeel dat onze uitlaatgassen daarin hebben. Maar ze vertellen ook dat het tegenwoordig veel beter kan: katalysatoren in de uitlaat van de motor kunnen de hoeveelheden schadelijke stoffen aanzienlijk verminderen. Alles, uiteraard, per gebruikte liter brandstof en afhankelijk van de omstandigheden.

Rijden we met die auto de veerboot op, naar Dover, Harwich, Majorca of Lesbos, dan zien we daar zonder twijfel de schim rondwaren van J.D. van der Baan, druk doende na te gaan of die gigantische drijvende parkeergarage die er zo stoer en onwrikbaar uitziet, nu wel echt stabiel en zeewaardig is. Het blijft een kwestie van optimaliseren met de factoren bouwkosten, capaciteit/opbrengst en veiligheid, waarbij de wetgever per definitie met de zwarte piet blijft zitten: gaat er iets fout, dan had de overheid strengere regels moeten geven; gaat het allemaal goed dan heeft de overheid de nationale economie geschaad door te strenge eisen. Zou dat na 1992 in een Verenigd Europa eenvoudiger worden? Hoewel niet exclusief, waren de echte bergen al lang feitelijk een soort buitenverblijf van de universiteit, en in dat kader is het artikel van J.-P. Richalet geen verrassing. Wat niet geldt voor de inhoud: wie echt de bergen in gaat zou dit artikel niet mogen missen.

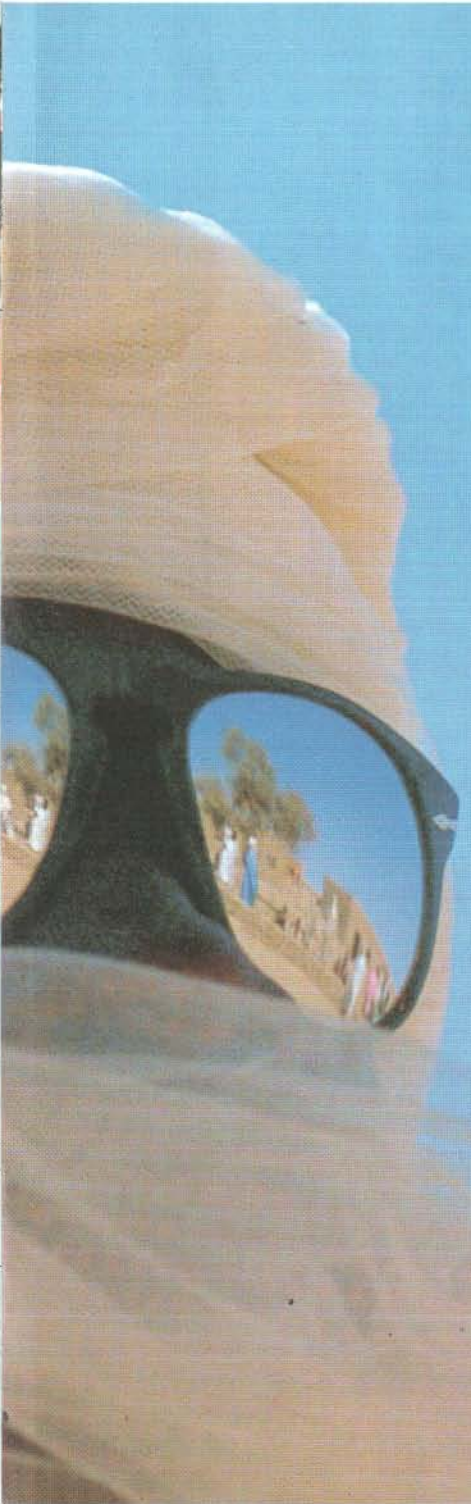
Wat zegt U? U gaat naar musea? Dan hebben we op pag. 590...

# **BRUIN *OF* VERBRAND**

## **UV-STRALING OP DE HUID**

Op plaatsen waar de zon gewoonlijk fel schijnt nemen mensen vanzelf de nodige maatregelen om de huid en de ogen, de organen die het meest gevoelig zijn voor ultraviolette straling, te beschermen. Bij deze toereizigers uit de Sahara zijn vermoedelijk alleen de handen aan het zonlicht blootgesteld.





**W.F. Passchier**

Gezondheidsraad  
's-Gravenhage

De zon stemt vrolijk, verwarmt, brandt en verschroeit. In stuiverromans en in literaire meesterwerken wordt de zon op één van deze manieren beschreven. De belangstelling voor de zon is terecht. Zij is immers de bron van leven en bedrijvigheid op aarde. De zon biedt meer dan licht en warmte. Zij zorgt onder andere voor ultraviolette straling en het is deze straling die de blanke huid bruint, maar ook rood doet verbranden.

Een gebruind lijf geldt voor velen als schoonheidsideaal. Het verlangen ernaar is zo groot, dat mensen zich kunst-zonnen aanschaffen om minder van de zon afhankelijk te zijn.

Alles heeft echter zijn keerzijde. Ook het zonnen, want ultraviolette straling op de huid leidt op den duur tot huidveroudering en huidkanker.

Ultraviolette straling is één van de vormen van elektromagnetische straling, naast bijvoorbeeld (zichtbaar) licht, infrarode straling en radiogolven. Ultraviolette (UV) straling onderscheidt zich van de andere vormen door een golflengte tussen 100 en 400 nm (1 nm is één miljoenste millimeter). Licht heeft grotere golflengten: 400 tot 780 nm; infrarode straling heeft nog langere golven, tot ongeveer 0,1 mm. Radiogolven hebben golflengten van centimeters tot honderden meters. Een voorbeeld van elektromagnetische straling met een veel kortere golflengte dan de UV-straling is röntgenstraling (1 nm of minder).

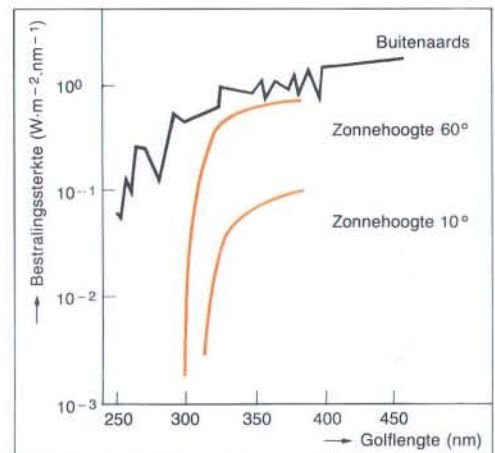
Binnen het 'UV-gebied' onderscheidt men vaak drie golflengtebereiken. Van 100 tot 280 nm spreken we van UVC-, van 280 tot 315 nm van UVB- en van 315 tot 400 nm van UVA-straling. Die indeling berust op verschillen in biologische effecten. Alle drie genoemde soorten UV-straling worden door de zon uitgezonden. Alleen kan de UVC-straling de aarde vrijwel niet bereiken, doordat het ozon in de atmosfeer die absorbeert.

Ozon is niet de enige factor die het spectrum van de zonnestraling op aarde beïnvloedt. Bewolking bijvoorbeeld houdt ook UV-straling tegen. Aan de kleine waterdruppeltjes van een wolk wordt de UV-straling verstrooid. Hoe kleiner de golflengte, des te sterker de verstrooiing. Ook de afstand die de straling door de atmosfeer moet afleggen is van belang; bij een grotere afstand is er meer kans op verstrooiing en absorptie. Staat de zon laag aan de hemel, en is die afstand dus groot, dan bevat de zonnestraling minder UV dan om 12 uur 's middags. Om diezelfde reden geldt dat hoe verder weg van de evenaar, des te lager de intensiteit van de UV-straling van de zon is (zie afb. 1).

We leven in een tijd waarin de mens meent dat hij alles uit de natuur kan namaken, ook de 'lamp' hoog aan de hemel. De aanleiding tot het maken van kunstzonnen was de ontdekking dat met ultraviolette straling bepaalde ziekten konden worden genezen. Thans zijn er ook allerlei technische toepassingen van UV-straling. De tandarts gebruikt UV-straling om vullingen in het gebit te harden, inkt van kranten wordt sneller droog door UV zodat de productie kan worden opgevoerd, ruimten blijven vrij van bacteriën en discodansersessen 'stralen' door UV op onverwachte plaatsen.

## Erytheem en bruining van de huid

UV-straling werkt vooral in op de huid. Dieper dan de huid kan deze straling niet in het lichaam doordringen. Ultraviolette straling werkt ook in op de ogen. Tegen directe straling van de zon is het oog goed beschermd door de ligging in de oogkassen onder de wenkbrauwen. Op plaatsen waar de zon echter ook 'van beneden' kan komen door terugkaatsing van de bodem, zoals in besneeuwde gebieden of in woestijnen, is oogbescherming onontbeerlijk. Dat hebben mensen al van oudsher ingezien.

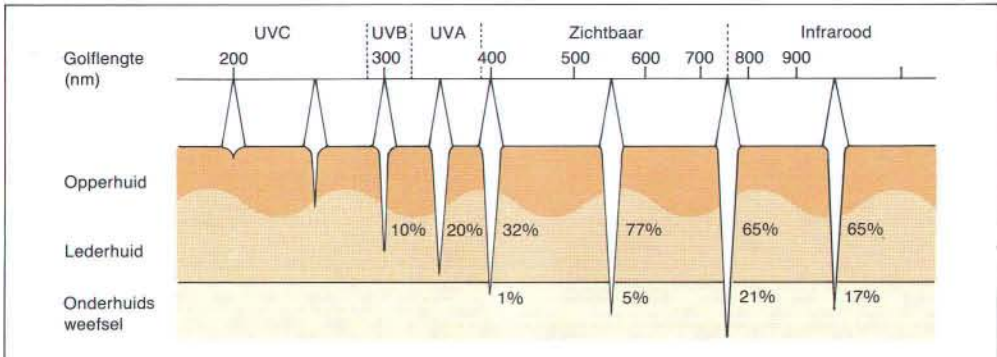


1

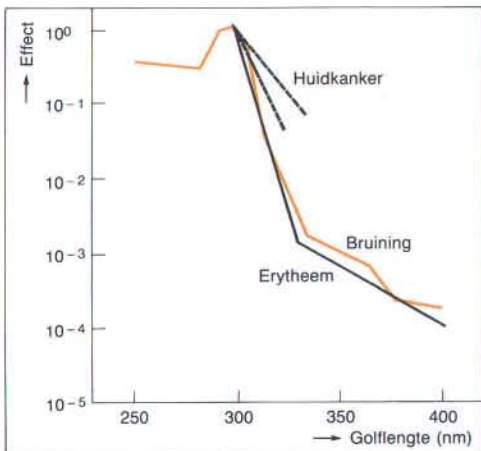
Zonnebrand of *erytheem* van de huid is het bekendste effect van een teveel aan UV-straling. Op een warme zomerdag aan het strand volgt veelal een pijnlijke avond en nacht. Erytheem ontstaat namelijk met vertraging; pas enkele uren na de bestraling merk je hoe verraderlijk de zon was. Het blijkt, en ook dat klopt met onze zomerse waarneming, wel een effect met een 'drempel' te zijn. De huid moet genoeg UV-straling ontvangen, wil erytheem optreden.

Erytheem ontstaat in stappen. Eerst vindt een fotochemische reactie in de huid plaats. De UV-straling wordt in de huid geabsorbeerd, waarbij chemische reacties optreden die in de huidcellen stoffen vrijmaken. Deze stoffen dringen dieper in de huid door en zorgen voor een verwijding van de bloedvaten. Het is ook





2



3

1. Spectrum van de UV-straling van de zon buiten de atmosfeer en op het aardoppervlak. In het laatste geval is het spectrum gegeven voor een 'zonnehoogte' van 60° en van 10°, hetgeen ruwweg overeenkomt met het middaguur van een heldere dag eind juni, respectievelijk eind december in Nederland.

2. Doorlaatbaarheid van de huid voor verschillende soorten elektromagnetische straling. De UV-straling blijft vrijwel volledig in de huid 'steken'.

3. Actiespectrum voor erytheem, voor bruining en voor huidcarcinomen. Het actiespectrum geeft de effectiviteit aan waarmee deze verschijnselen bij verschillende golflengten teweeg gebracht worden. Het actiespectrum voor erytheem is een referentiecurve voor de licht gebruide, niet kort geleden aan UV-straling blootgestelde huid van een blanke. Arbitrair is de waarde bij 297 nm op 1 gesteld. Het actiespectrum voor bruining is bepaald in een recent onderzoek. Het actiespectrum voor huidcarcinomen is afgeleid uit proeven met muizen.

mogelijk dat UVA-straling de bloedvaten direct beschadigt.

De hoeveelheid UV-straling die nodig is om juist erytheem op te wekken, is sterk afhankelijk van de golflengte. Uit alle waarnemingen hebben deskundigen van de Internationale Commissie voor de Verlichting (CIE) en het Internationaal Elektrotechnisch Comité een referentiecurve gemaakt, het *erytheemactiespectrum*, die de golflengte-afhankelijkheid voor het ontstaan van erytheem weergeeft (afb. 3). Het actiespectrum geldt voor de huid van een blanke. Arbitrair is de effectiviteit bij 297 nm gelijk aan 1 gesteld. Opvallend is dat tussen 300 en 330 nm, dus deels in het UVB, het actiespectrum met meer dan een factor 1000 afneemt. Dat betekent dus dat bij 330 nm en hogere golflengten meer dan 1000 maal zo-

veel energie nodig is om erytheem op te wekken dan bij golflengten kleiner dan 300 nm. Kijken we naar het spectrum van de zon in afbeelding 1 dan wordt duidelijk waarom je rond het middaguur van een hete zomerdag al in een uurtje kunt verbranden, terwijl je 's ochtends vroeg of 's avonds laat uren in de zon kan lopen zonder (later) problemen te krijgen.

De effectiviteit waarmee een stralingsbron erytheem opwekt, kan worden nagegaan door de *erytheemintensiteit* te berekenen. Daartoe bepaalt men de intensiteit van de straling bij elke golflengte, vermenigvuldigt die met de waarde van het actiespectrum bij die golflengte en telt de voor het hele spectrum verkregen getallen bij elkaar op. De totale stralingsenergie die in een bepaalde tijd op een oppervlakte-eenheid van de huid valt, noemen we bestra-

lingsdosis. De bestralingsdosis is dus de erytheemintensiteit maal de tijd. De erytheem-bestralsingsdosis die bij de meeste blanke Europeanen juist erytheem geeft, is ongeveer  $200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ , vaak aangeduid als 1 MED.

De bestralingsdosis die juist erytheem geeft, hangt per persoon af van het huidtype. In de tabel is een indeling in huidtypen gemaakt en is aangegeven hoe de gevoeligheid voor erytheem van huidtype tot huidtype verschilt. De waarde van  $200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  is karakteristiek voor huid van type II/III die niet kort geleden aan UV-straling is blootgesteld. Is de huid aan UV-straling 'gewend', dan is een grotere bestralingsdosis nodig om erytheem op te wekken. Mensen van donkergekleurd ras verbranden bijna helemaal niet in de zon.

Een gelukkige bijkomstigheid is dat, na het pijnlijke nachtje zonnebrand, de huid een gebruinte kleur krijgt. UV-straling is namelijk ook verantwoordelijk voor de pigmentatie-reactie in de huid. De bruining ontstaat doordat onder invloed van UV-straling in de pigmentcellen in de huid meer melanine, een bruine kleurstof, wordt aangemaakt. Ook komen er vermoedelijk meer pigmentcellen bij.

Bruining door de zon wordt vooral veroorzaakt door de UVB-straling. Ook UVA-straling kan een bruinend effect geven; net als bij erytheem is UVA-straling echter een factor

van ruim 1000 minder effectief. Bij UVB-straling ligt de bestralingsdosis die juist erytheem opwekt meestal wat lager dan de bestralingsdosis die nodig is voor bruining. Het is dan ook niet goed mogelijk om in de zon bruin te worden zonder de eerste keer licht verbrand te zijn. Bij UVA-straling is de situatie anders. Daar ligt de dosis om erytheem te krijgen boven die om te bruinen.

Bruining van de huid heeft een beschermende functie. Ze zorgt ervoor dat UV-straling door de kleurstof wordt geabsorbeerd, waardoor de levende huidcellen er minder bloot aan staan. Veel meer bescherming biedt echter een andere reactie van de huid op blootstelling aan UV-straling: de huidverdikking. Voornamelijk door de inwerking van UVB-straling ontstaat een verhoogde delingsactiviteit van de huidcellen. Die verhoogde activiteit kan enkele dagen tot ongeveer een week aanhouden. Daardoor wordt de huid dikker, inclusief de laag dode cellen op de opperhuid. Dat verklaart voor een deel waarom we met het verstrijken van de zomer de zon steeds beter verdragen.

### Huidkanker

Zonnebrand, hoe vervelend ook, is nog niet zo'n ramp en verdwijnt zonder merkbaar sporen na te laten. UV-straling werkt echter ook

TABEL. Huidtypen

| Type                      | Erytheemdosis (t.o.v. type I) | Effect blootstelling aan de zon              | Type komt veel voor bij                                    |
|---------------------------|-------------------------------|--|--|
| I                         | 1                             | Altijd zonnebrand<br>Nooit bruining          | Roodharige, sproetige personen                             |
| II                        | 1,7                           | Altijd zonnebrand<br>Minimale bruining       | Blanken met lichte huid, blond haar en blauwe ogen         |
| III                       | 2,5                           | Matige zonnebrand<br>Bruining tot lichtbruin | Blanken met een wat donkerder huid                         |
| IV                        | 3,9*                          | Minimale zonnebrand<br>Goede bruining        | Blanken met Mediterrane afkomst                            |
| V                         |                               | Zelden zonnebrand<br>Snelle bruining         | Personen uit Midden-Oosten, Latijns-Amerika en Zuid-Europa |
| VI                        | 9,7                           | Nooit zonnebrand<br>Donkere huidskleur       | Personen met zwarte huid                                   |
| * Gemiddelde voor IV en V |                               |  |  |





4

4. De Amerikaanse renner Davis Phinney wisselt onderweg van shirt. Zijn witte lijf en bruine armen verraden dat hij in de zomer zijn beroep uitoefent en geen tijd heeft om aan het strand te gaan liggen.

5. Een troost voor verbrande mensen is dat de huid na enige tijd toch bruin wordt, behalve bij mensen met een huidtype waarbij dat nooit lukt. Zowel de bruining als de door UV veroorzaakte verdikking van de huid hebben een beschermende werking.

5



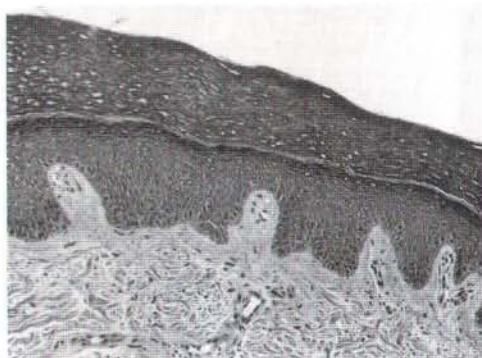


onomkeerbaar op de huid in. Bij het ouder worden wordt de huid minder soepel, er ontstaan rimpels en bruine vlekken; UV-straling versnelt het verouderingsproces. Bij mensen die veel buiten werken is die veroudering van de huid sterker dan bij binnenwerkers.

Niet alleen verouderd de huid met het stijgen van de leeftijd, ook de kans op het optreden van huidkanker neemt toe. Meestal worden twee vormen van huidkanker onderscheiden, de basaalcel- en plaveiselcelcarcinomen enerzijds en de melanomen anderzijds. De twee typen carcinomen zijn kanker van de huidcellen zonder pigment. Ze zijn voor het merendeel niet erg kwaadaardig en kunnen vaak met een weinig belastende ingreep worden genezen. Minder dan 1 op 100 patiënten overlijdt aan deze vorm van kanker. Anders ligt dat bij de melanomen, kankers van de pigmentcellen. Deze laten zich veel minder gemakkelijk genezen; dertig tot vijftig procent van de patiënten overlijdt eraan (zie afb. 7).

Er bestaat wetenschappelijk geen twijfel over dat huidcarcinomen voor het overgrote deel door UV-straling (van de zon) worden veroorzaakt. Het mechanisme waardoor de kanker ontstaat, is nog niet geheel opgehelderd. De UV-straling kan het DNA van een huidcel beschadigen. Worden die beschadigingen niet hersteld, dan kan de cel uitgroeien tot een tumorcel. Die tumorcel kan door het afweermechanisme van het lichaam onschadelijk worden gemaakt. Er zijn aanwijzingen dat UV-straling die werking van het afweermechanisme onderdrukt.

Hoe zit het met de effectiviteit van UV-straling om huidcarcinomen teweeg te brengen? Om de vraag te kunnen beantwoorden is langdurig en kostbaar onderzoek met proefdieren nodig. Dat onderzoek is in volle gang. Wat nu al blijkt is dat ook de kans op het optreden van huidcarcinomen met de golflengte varieert. Uit proeven van prof dr J.C. van der Leun in Utrecht blijkt, dat het actiespectrum voor huidcarcinomen bij muizen lijkt op dat voor erytheem of bruining. Men vindt ook hier een sterke afname in het UVB tussen 300 en 330 nm. De effecten van straling met golflengten groter dan 350 nm (UVA) zijn nog niet geheel duidelijk. Uit het actiespectrum kan al wel worden afgeleid dat bij straling van de zon toch vooral het UVB voor de huidcarcinomen verantwoordelijk is.



6 A

6. De gezonde huid (A) kunnen verschillende lagen onderscheiden worden. De buitenste donkere laag is de hoornlaag. Deze bestaat uit platte dode cellen. Vervolgens zien we een laag die twee of drie cellen dik is, de korrelaag. Onder deze laag liggen er nog twee, maar die zijn op deze foto niet goed te onderscheiden, de doorncel-

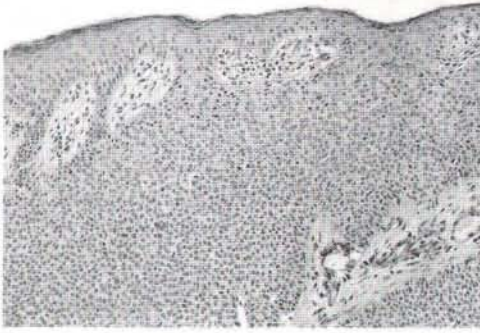
## UV-straling en ozon

De ozonlaag in de stratosfeer vormt dezer dagen voorpaginanieuws. Spuitbussen die fluorkoolwaterstoffen in de lucht vrijlaten, zouden ervoor zorgen dat deze laag steeds 'dunner' wordt. Door het verdwijnen van ozon kan het UV-stralingsniveau op aarde toenemen. Dat zou wel eens een stijging van het optreden van huidkanker kunnen veroorzaken, terwijl ook invloeden op planten en dieren niet zijn uit te sluiten.

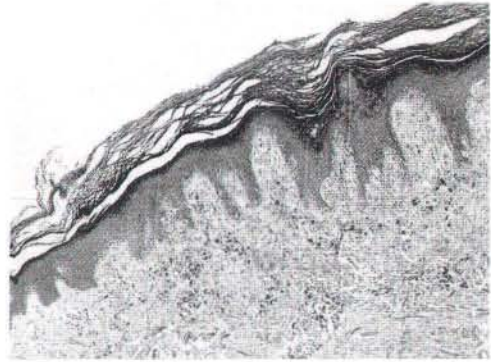
Sinds 1966 wordt in Philadelphia in de USA UV-straling gemeten, jaar in, jaar uit. Daarvoor wordt een *Robertsonmeter* gebruikt, die de UV-straling van de zon meet en 'weegt' ten aanzien van de mate waarin erytheem veroorzaakt kan worden.

De UV-stralingsintensiteit varieert nogal, onder meer met de bewolking en mate van verontreiniging van de lucht. Door echter de waarden over perioden van een jaar te zamen te nemen kunnen de dagelijkse of uurlijkse fluctuaties worden uitgemiddeld. Uit de metingen bleek dat tussen 1974 en 1980 de waarden boven het gemiddelde lagen en van 1980 tot 1985 daaronder. Dat wordt in verband





B



C

laag en de basaalcellaag. Deze laag bevat ook de pigmentvormende cellen. Samen vormen deze lagen de opperhuid. Daaronder zien we (lichtgekleurd) de lederhuid. Deze structuur is duidelijk verstoord bij basaalcelcarinomen (B) en melanomen (C).

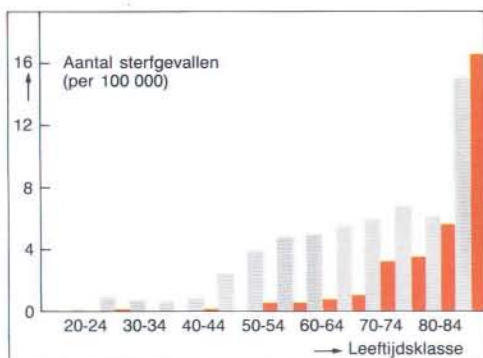
gebracht met het aantal zonne-uitbarstingen (zonnevlekken). In een periode met veel zonne-uitbarstingen wordt veel ozon gevormd en is de intensiteit van UV-straling op aarde dus minder dan in een periode met weinig zonne-uitbarstingen. Eens in de elf jaar zijn er veel uitbarstingen. Die cyclus van elf jaar komt ook in de UV-metingen tot uitdrukking.

De gemeten waarden geven geen indicatie voor een drastische toename van de hoeveelheid UV-straling op aarde. In elk geval blijkt dat in de periode van 1975-1985 de afname ten gevolge van de zonne-uitbarstingen de overhand heeft gehad.

Heeft de variatie in het UV-stralingsniveau op aarde gevolgen voor het optreden van huidcarcinomen? Vermoedelijk niet. De kans op het optreden van huidcarcinomen wordt bepaald door de totale blootstelling aan UV-straling over een groot aantal jaren. Voor het optreden van melanomen ligt dat mogelijk anders. Er zijn (speculatieve) theorieën die stellen dat het optreden van zonnebrand melanomen zou kunnen veroorzaken. Een 10% UV-straling meer in een bepaald jaar, kan de kans op zonnebrand in dat jaar aanmerkelijk verhogen.



I-1. Sommige drijfgassen uit spuitbussen tasten de ozonlaag aan. Ernstige aantasting kan tot gevolg hebben dat meer UV-straling de aarde bereikt.



7. Aantal sterfgevallen per 100 000 personen aan carcinomen (grijs) en melanomen (kleur) van de huid in Nederland in 1985, als functie van de leeftijd. Merk op dat de sterfte aan carcinomen geringer is voor vrijwel alle leeftijdsklassen en pas bij personen boven de 70 duidelijk toeneemt. Bij zeer hoge leeftijden verdubbelt de sterfte aan beide vormen van kanker. Gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek.

8. Bij de vakgroep dermatologie van de Rijksuniversiteit Utrecht onderzocht men het effect van verschillende typen UV-straling op de huid bij muizen. De dieren worden daartoe in de afgebeelde kooien gedurende enige tijd aan deze straling blootgesteld.

Volgens de Utrechtse onderzoeksgroep zijn er sterke aanwijzingen dat ook UVA-straling huidkanker opwekt. Bij blootstelling van muizen aan gelijke erytheembestralingdoses UVA- en UVB-straling ligt de kans op huidcarcinomen hoogstwaarschijnlijk in dezelfde orde van grootte. Er zijn geen redenen te veronderstellen dat de situatie bij mensen radicaal anders is dan bij muizen.

Voor bepaalde typen *melanomen* ligt de relatie met zonnestraling net zo duidelijk als voor de huidcarcinomen. Voor andere typen speelt de UV-straling van de zon vermoedelijk wel een rol, maar dan te zamen met voor een deel onbekende andere factoren.

Er is de afgelopen jaren in alle westerse landen een aanmerkelijke stijging opgetreden van het aantal melanomen. De oorzaak is onbekend. Sommige onderzoekers wijzen op het feit dat mensen zich vaker en met een daarop slecht voorbereide huid aan de zon blootstellen. De veronderstelling dat UV-straling van fluorescentielampen (TL-buizen) de boosdoener is, wordt onhoudbaar geacht.

## Anti-zonnebrandmiddelen

Middelen die bescherming bieden tegen zonnebrand zijn op grond van hun werking in twee groepen in te delen. De eerste groep middelen bevordert de vorming van melanine, het bruine huidpigment. Meer pigment in de huid gaat immers de vorming van erytheem tegen. Middelen van de tweede categorie werken als een filter dat de UVB-straling uit het zonlicht weghaalt.

De vorming van melanine in de huid kan worden gestimuleerd door psoraleenderivaten. Deze komen voor in bergamotolie en in etherische oliën die worden gewonnen uit sommige scherm- en vlinderbloemige planten. In hun bruinende werking zijn ze niet van die van het zonlicht te onderscheiden. Een nadeel van sommige is echter dat de huid gevoeliger wordt voor UVA-straling. Bovendien bestaat het vermoeden dat sommige psoralenen kankerverwekkend zijn.

Middelen die de UVB-straling uifilteren dienen vooral om te voorkomen dat de ery-

8





theemvorming ongewenste proporties aanneemt. Hun werking berust in feite op de wet van Lambert-Beer die de absorptie van licht in een doorlatend medium beschrijft. Wanneer een stof licht van een bepaalde golflengte in zekere mate absorbeert, geldt dat de doorgelaten hoeveelheid licht met die golflengte (T) afhangt van de concentratie van de filterende stof (C), de dikte van de laag (d) en een van de stof afhankelijke constante (E) volgens

$$\log T = E \cdot C \cdot d$$

Anti-zonnebrandmiddelen die UVB tegenhouden, bevatten dus producten die sterk absorberen tussen 280 en 320 nm. De absorberende stoffen mogen niet giftig zijn, geen allergische reacties oproepen en niet reageren met andere stoffen in het middel en met stoffen op de huid (zweet). De tegenwoordig gebruikte middelen zijn bijna allemaal olieoplosbare watervaste producten, waarin de werkzame stof in een concentratie van 2 tot 4% aanwezig is.

Het gebruik van oliën als oplosmiddel heeft het voordeel dat het beschermende vetlaagje op de huid in stand gehouden wordt, terwijl het de huid ook tegen uitdroging beschermt. Om de middelen een koelend effect te laten hebben worden ze veelal als emulsie uitgevoerd. Het opgesloten water verdampt dan op de huid en geeft zo verkoeling.

De effectiviteit van de UVB-absorber wordt uitgedrukt in de Sun Protection Factor (SPF). De waarde van de SPF kan liggen tussen 1 en 20 en geeft aan hoeveel langer de beschermde huid, voorzien van het betreffende zonnebrandmiddel, in de zon kan verblijven zonder dat erythem optreedt. De voor de gebruiker wenselijke beschermingsfactor is afhankelijk van het huidtype. Mensen met een gevoelig huidtype doen er goed aan een zo groot mogelijke beschermingsfactor te kiezen.

**Dr ir H.M. Brand**  
Bladel



Is het dan nog wel gezond om in de zon te gaan zitten, zult u zich wellicht afvragen. Een positief effect van UV-straling is in elk geval de aanmaak van vitamine D. Die stof is onontbeerlijk bij de calciumstofwisseling en dus voor de groei van ons beenderstelsel. De Engelse ziekte of *rachitis*, bij kinderen in de besmogte industriesteden aan het begin van deze eeuw, vond zijn oorzaak in een tekort aan zonnestraling en daardoor aan vitamine D. We kunnen dan vitamine 'slikken' (levertraan), maar de zon werkt ook goed. Vermoedelijk bewerkstelligt de UVB-straling van de zon de aanmaak van vitamine D3 in de huid en zorgt de UVA-straling ervoor dat er niet teveel wordt aangemaakt.

### Bruin, ook zonder zon

De onduidelijkheid over het vermogen van UVA-straling om huidcarcinomen op te wekken, is niet alleen van academisch belang. Met de uitkomst van het onderzoek op dat gebied zijn ook commerciële belangen gemoeid. De

laatste jaren is een bruine huid namelijk 'in'. Velen beschouwen een gebronsd lijf als een teken van vitaliteit en sociale status. Wat vroeger een kenmerk van het 'gepeupel' was, is nu het bewijs van het 'arrivé' zijn. Helaas schijnt op onze breedtegraden de zon maar matigjes, en als de zon er al is, hebben we vaak geen tijd of zin om ons erdoor te laten koesteren.

De 'kunstzon' biedt uitkomst. Maar dan niet meer in de vorm van de 'ouderwetse' hoogtezoon, met flink wat UVB-straling. Moderne bruiningsapparaten stralen alleen UVA uit. Daardoor is geen kans op een verbrande huid als je per vergissing een paar minuten te lang onder de kunstzon zit. De zonnebank vraagt al gauw een half uur blootstelling en schakelt bovendien automatisch uit. En bovendien betekent veilig bruinen met een UVA-kunstzon ook geen kans op huidkanker, aldus sommige propagandafolders.

Die teksten komen niet zomaar uit de duim van een vlotte reclamejongen. De eerste onderzoekers die muizen met UVA bestraalden, trokken namelijk te snel de conclusie dat UVA-straling geen kanker kon verwekken. Zoals eerder is aangegeven, kan de kreet 'veilig bruinen met UVA' hoogstwaarschijnlijk wetenschappelijk niet door de beugel als het om het uitblijven van kanker gaat. Bruinen met UVA of met UVB geeft ongeveer dezelfde vergroting van de kans op huidkanker.

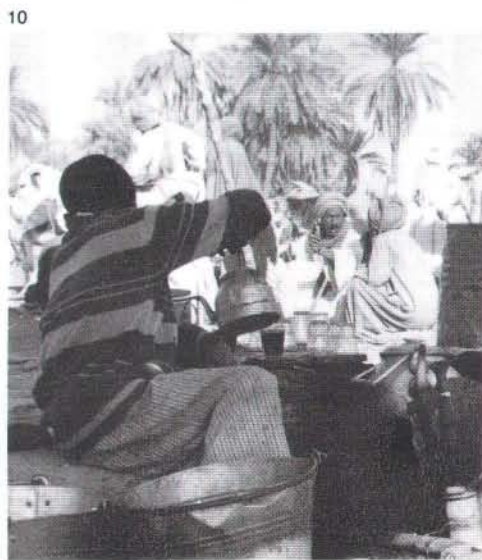
Is er eigenlijk reden om je druk te maken over het gebruik van kunstmatige UV-stralingsbronnen? Als je naar de aantallen kijkt wel. In 1984 koesterden volgens een onderzoek van de Stichting Consument en Veiligheid maar liefst één miljoen Nederlanders zich tenminste éénmaal in de straling van zo'n apparaat. Waarom deden ze dat? Het merendeel zegt een bruine huid te willen krijgen. De gemiddelde gebruiker lag zo'n 20 tot 25 maal per jaar onder het bruiningsapparaat. Een tiende van de gebruikers doet het minder dan drie maal, maar een andere 10% bevindt zich meer dan 60 maal per jaar onder de kunstzon. Bij een apparaat dat voornamelijk UVA-straling uitzendt, kan de erytheembestringsdosis op iets minder dan 1 MED ( $200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ) per beurt worden geschat; bij een hoogtezoon met veel UVB-straling gemiddeld op ongeveer 2 MED. Afhankelijk van het soort apparaat ligt de gemiddelde bestringsdosis op jaarbasis tussen 20 en 50 MED. Een 15% van de gebruikers

9. Bruin worden onder een kunstzon komt meer en meer in zwang, om ook in ons klimaat het hele jaar door er een 'gezonde' teint op na te kunnen houden. Het is echter nog maar de vraag of veelvuldig 'kunstzonnen' zo gezond is.

10. Hoewel Egyptenaren door hun huidtype beter dan Noord-Europeanen tegen zonnebrand beschermd zijn, dragen zij altijd kleding die hen goed bedekt. Wanneer zij niet per se buiten hoeven te zijn en bijvoorbeeld even een kop thee willen drinken, zullen ze de schaduw opzoeken.

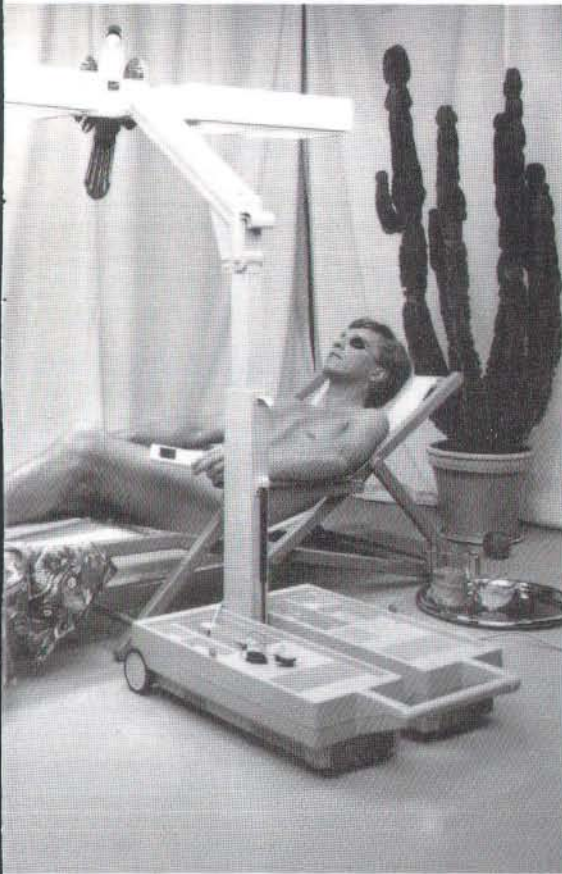


9



10





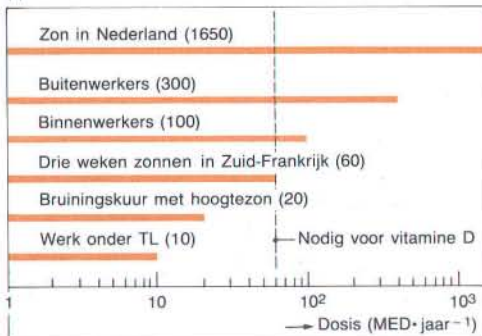
was minder tevreden na de bestraling. In plaats van mooi bruin kwamen zij met een pijnlijke of droge huid, jeuk, pijn in de ogen en soms 'verbrand' onder de UV-stralingsbron vandaan. Bij één vijfde van deze mensen was medische behandeling noodzakelijk.

Of mensen zich al dan niet willen laten bruinen, is een beslissing die uiteindelijk bij hen zelf ligt. Zelfs als een strenge overheid het gebruik van bruiningsapparaten zou willen verbieden, dan is een keertje naar park of strand op een zonnige dag voldoende om de zo zeer begeerde bruine huid te krijgen. Het aantal gevallen van huidkanker zal er niet door veranderen. De overheid kan zich daarom maar het beste beperken tot voorlichting over het risico van bestraling door de zon en door apparaten.

Ongeacht de UV-stralingsbron, is de kans op huidkanker hoogstwaarschijnlijk steeds van dezelfde orde van grootte. Wel is het zo dat UVA-apparaten dunder zijn en meer energie verbruiken. Wie de huid alvast wil laten wennen aan de zonnestraling in de vakantielanden, kan het beste voorzichtig een UVB-apparaat, zoals de hoogtezoon gebruiken.

Bij bruinen met een UVA-apparaat is er minder kans op erytheem. Wel moet goed worden opgelet dat niet allerlei stralingsgevoelige cosmetica of medicijnen met de straling reageren en narigheid veroorzaken. Dat geldt ongeacht de aard van de UV-straling.

11



11. Blootstelling aan UV-straling in Nederland, uitgedrukt als erytheem-bestralsingsdosis per jaar. De erytheem-bestralsingsdosis is uitgedrukt in MED; 1 MED komt overeen met  $200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ . De werkelijke blootstelling is natuurlijk afhankelijk van iemands leefwijze: werk je binnenshuis of buitenshuis, neem je bij elk sprankje zon meteen een zonnebad, zoek je op vakantie het zonnige zuiden of blijf je in eigen land enzovoort.

#### Literatuur

- UV-straling. Blootstelling van de mens aan ultraviolette straling. Rapport 1986/9. Den Haag: Gezondheidsraad 1986.
- Slaper H, Leun JC van der. Ultraviolette straling op de menselijke huid. Rapport Stralingsbescherming 85/2. Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1985.
- Paschier WF, Bosnjakovic BFM (eds). Human exposure to ultraviolet radiation, risks and regulations. Excerpta Medica International Congress Series 744. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1987.
- Greiter F. Sonne und Gesundheit. Stuttgart: G. Fischer Verlag, 1984.

#### Bronvermelding illustraties

- Transworld Features, Haarlem: pag. 526-527, 5, 1.
- Cor Vos, Hoogvliet: 4.
- E. Prins, Daniël den Hoedkliniek, Rotterdam: 6.
- Vakgroep Dermatologie, RU Utrecht: 8.
- Philips Eindhoven: 9.
- Huup Dassen, Maastricht: 10.

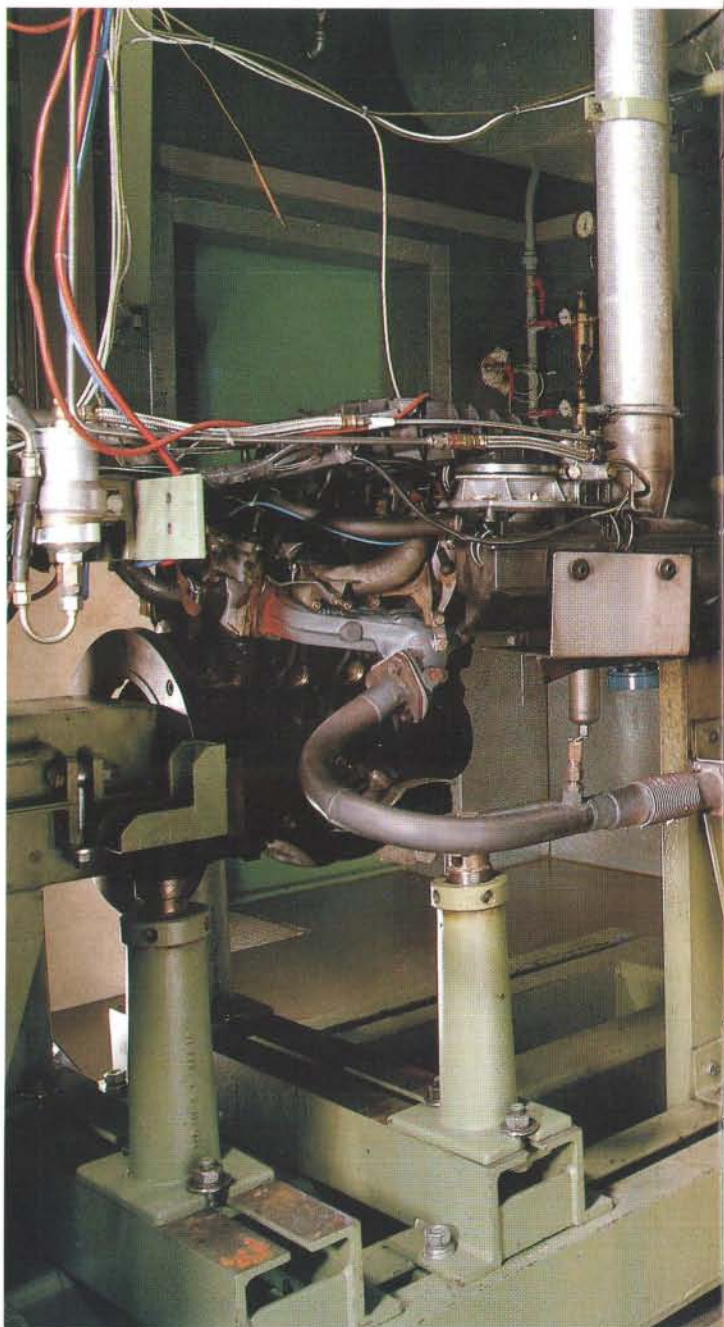
**C.M.A.M. Mesters**  
**A.H. Joustra**  
*Koninklijke Shell Laboratorium  
Amsterdam*

# DE

De atmosfeer die de aarde omringt is letterlijk van levensbelang voor mensen, dieren en planten. Lucht heeft echter ook een grote economische betekenis. Luchtverontreiniging kan de gezondheid van mensen en dieren, de groei van planten, en de kwaliteit van de bodem en het grondwater beïnvloeden.

In tegenstelling tot wat men vroeger dacht, vormen luchtverontreiniging en haar gevolgen niet alleen een lokaal, maar ook een globaal probleem. De transportsector is, wereldwijd, verantwoordelijk voor een grote hoeveelheid verontreinigingen aan stikstofoxyden, koolstofmonoxyde en koolwaterstoffen. Het blijkt dat katalysatoren in de uitlaatpijp van auto's deze schadelijke stoffen effectief afbreken.

Een laboratoriumopstelling voor het testen van de eigenschappen van autokatalysatoren. Het gedrag van de katalysator is afhankelijk van en vaak regelbaar op grond van de lucht-brandstofverhouding in de motor.





# KATALYSATOR

IN DE UITLAAT





Luchtverontreiniging is geen nieuw verschijnsel. Al sedert de industriële revolutie komen plaatselijk verhoogde concentraties aan verontreinigingen in de lucht voor. Tot voor kort werd dit gezien als een bekend lokaal beheersbaar probleem. Een klein aantal notoir vervuillende stoffen zoals zwaveldioxyde ( $\text{SO}_2$ ), stikstofoxyden ( $\text{NO}_x$ ), vaste deeltjes, vluchtige organische stoffen ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) en koolstofmonoxyde ( $\text{CO}$ ), afkomstig van kolencentrales, hoogovens, chemische fabrieken en raffinaderijen beïnvloedde onder bepaalde weersomstandigheden het zicht en had nadelige effecten op de gezondheid. Het verschijnsel *smog* dateert al uit de vorige eeuw. Nu weten we dat het berust op de vorming van oxydanten zoals waterstofperoxyde, peroxyacetylnitrat, peroxypropionynitrat en vooral ozon, via ketteringreacties van stikstofoxyden met koolwaterstoffen onder invloed van zonlicht (zie Intermezzo I). Aanvankelijk dacht men dit probleem te kunnen beperken door bij bepaalde weersomstandigheden de uitstoot te verminderen en door hoge schoorstenen te bouwen.

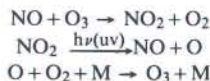
Tegenwoordig doen zich echter mondiale problemen voor die rechtstreeks met luchtverontreiniging te maken lijken te hebben. Zo worden bossterfte, het verzuren van meren en de achteruitgang van de soortenrijkdom in flora en fauna in grote gebieden binnen de gematigde klimaatzones op het noordelijke halfrond geconstateerd. De belangrijkste oorzaak lijkt de grote groei van de industrie, de intensievere landbouw en het gemotoriseerde verkeer sinds de jaren vijftig te zijn (zie tabel 1). Sinds 1978 krijgt vooral de sterk toegenomen bossterfte grote aandacht. In een aantal Europese landen (Nederland, Bondsrepubliek Duitsland en Zwitserland) was in 1986 omstreeks 50% van het bosbestand niet of verminderd vitaal. Alhoewel een deel van deze bossschade toegeschreven kan worden aan klimatologische factoren zoals de strenge winter van 1978/1979 en de droge zomer in 1976, zijn ook luchtverontreinigende stoffen verantwoordelijk voor deze achteruitgang. Door de inwerking van verzurende stoffen en de verhoogde ozonconcentraties als gevolg van de emissies van zwaveldioxyde, stikstofoxyden en koolwaterstoffen, is de weerstand van de bomen tegen vorst, droogte en insectenplagen in bepaalde gebieden belangrijk afgenomen. Voorts zijn er aanwijzingen dat de relatief ho-

ge zwaveldioxyde- en ozonconcentraties de opbrengst van sommige landbouwgewassen 5 tot 10% reduceren.

Een ander probleem betreft de aantasting van de ozonlaag. De verdeling van ozon in de atmosfeer is niet homogeen. De hoogste concentraties worden gemeten in de stratosfeer, ongeveer 20 tot 25 km boven het aardoppervlak. Daar speelt ozon een cruciale rol in de bescherming van levende wezens op het aardoppervlak tegen schadelijke ultraviolette straling, die een verhoogde kans op huidkanker geeft. Daarnaast speelt ozon in lagere luchtlagen een belangrijke rol in de warmtehuishouding van de atmosfeer door absorptie van de gereflecteerde infraroodstraling van de aarde. Een verandering van de ozonconcentraties in deze lagen kan klimatologische veranderingen met zich mee brengen. Er zijn aanwijzingen dat deze klimatologische veranderingen van dezelfde grootte-orde zijn als die welke veroorzaakt kunnen worden door emissies van koolstofdioxyde.

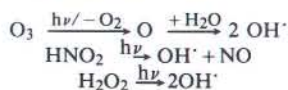
## Fotochemische smogvorming

Bij de vorming van fotochemische smog is vrijwel altijd een groot aantal stikstofverbindingen betrokken met daarnaast koolwaterstoffen en ozon. Bij deze reacties spelen verschillende soorten radicalen een grote rol. Een aantal van deze reacties is hieronder weergegeven.



In dit samenstel van reacties, de zogenaamde *nul sequence*, vindt geen netto opbrengst aan ozon plaats. Als er geen andere reacties zouden zijn, dan zou al binnen enkele minuten een stationaire toestand bereikt zijn.

Aangenomen wordt dat de volgende reacties de belangrijkste zijn voor de vorming van het hydroxylradicaal  $\text{OH}^\cdot$ :





TABEL 1 Bijdrage van de transportsector aan de luchtverontreiniging

|                               | Transport (%) | Stationaire bronnen* (%) |
|-------------------------------|---------------|--------------------------|
| NO <sub>x</sub>               | 54            | 46                       |
| SO <sub>2</sub>               | 8             | 92                       |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | 43            | 57                       |
| CO                            | 90            | 10                       |

\* Stationaire bronnen treft men ook aan bij niet-industriële activiteiten. Zo worden relatief grote hoeveelheden koolwaterstoffen uitgestoten bij het schilderen, en bij het gebruik van spuitbussen, cosmetica en schoonmaakmiddelen.

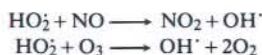
## Uitlaatgassen

De verbranding in automotoren van benzine, voornamelijk bestaande uit koolwaterstoffen, levert een aantal produkten die schadelijk zijn. Een analyse van een 'gemiddeld' uitlaatgas staat in tabel 2.

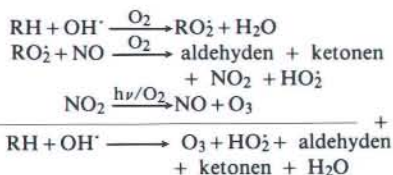
CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O zijn afkomstig van de volledige verbranding van benzine. De overige componenten zoals CO, H<sub>2</sub> en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> ontstaan door onvolledige verbranding van de benzine. NO<sub>x</sub> wordt gevormd door de bij de hoge verbrandingstemperaturen optredende reactie tussen stikstof en zuurstof uit de lucht. De uitstoot van SO<sub>2</sub> door auto's wordt in het alge-

TABEL 2 Typische samenstelling van een auto-uitlaatgas (vol. %)

| N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | CO    | H <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | O <sub>2</sub> | C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | SO <sub>2</sub> |
|----------------|-----------------|------------------|-------|----------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|
| 76             | 12              | 10               | 0,5-2 | 0,1-0,7        | 0,05-0,2        | 0,5-1,0        | 0,1                           | sporen          |



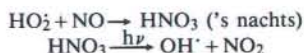
Gebleken is dat NO<sub>x</sub> in hoge mate de concentratie van OH<sup>·</sup> in de atmosfeer beïnvloedt.



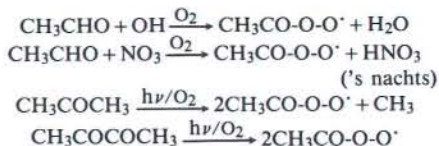
Deze reacties produceren naast het hydroperoxyradicaal ook ozon. Het is deze ozon die geassocieerd wordt met fotochemische smog. De hoeveelheid gevormde ozon is afhankelijk van de verhouding NO<sub>2</sub>/NO. De concentratie van de geproduceerde ozon is altijd groter dan de oorspronkelijke concentratie aan NO<sub>x</sub>.

Het HO<sub>2</sub>-radicaal is op zijn beurt weer verantwoordelijk voor de vorming van het OH-

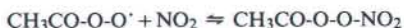
radicaal via de reacties



Het peroxyacylradicaal ontstaat door:



CH<sub>3</sub>CHO (aceetaldehyde), CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> (aceton) en CH<sub>3</sub>COCOCH<sub>3</sub> (biacetyl) zijn bijprodukten van de oxydatie van koolwaterstoffen: aceetaldehyde ontstaat uit oxydatie van n-alkanen en alkenen, aceton uit oxydatie van i-C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> en i-C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> en biacetyl uit oxydatie van o-xyleen. CH<sub>3</sub>CO-O-O<sup>·</sup> reageert verder met NO<sub>2</sub> tot peroxyacetylnitrat (PAN).



meen niet als een probleem gezien, omdat benzine vrijwel geen zwavel bevat.

De schadelijke componenten, die eigenlijk uit het uitlaatgas moeten worden verwijderd, zijn CO, NO<sub>x</sub> en onvolledig verbrande benzine (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>). CO en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> moeten worden omgezet in CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. In de praktijk blijkt dat NO<sub>x</sub> alleen gemakkelijk om te zetten is door reductie tot stikstof (N<sub>2</sub>), waarbij ook H<sub>2</sub>O of CO<sub>2</sub> ontstaat. De thermodynamisch gezien mogelijke ontleding van NO in zuurstof en stikstof is praktisch onuitvoerbaar. De reactievergelijkingen staan hieronder in Intermezzo II.

### Katalysator

Vanaf hun eerste ingebruikname staan auto's bekend als 'lawaaierige en gevaarlijke, stinkende dingen die de rust in ernstige mate verstoren en bovendien de paarden doen schrikken'. Zo omschreef althans W.C. Durant, oprichter van General Motors zijn producten.

Ondanks deze negatieve kenmerken is de auto echter niet meer weg te denken.

De relatie tussen auto-uitlaatgassen en fotochemische smog werd voor het eerst gelegd door Haagen-Schmidt (1953), die er in slaagde om een aantal chemische reacties te identificeren die in de atmosfeer plaatsvinden onder invloed van zonlicht. Hij stelde vast dat twee componenten uit auto-uitlaatgassen een belangrijke rol spelen: koolwaterstoffen en stikstofoxyden. Ook de autofabrikanten waren zich inmiddels wel bewust van de door auto's veroorzaakte smogproblemen. In 1953 begonnen Ford, General Motors, Chrysler en American Motors aan een gezamenlijke studie van het smogprobleem. In 1957 kwam men tot de conclusie dat het gebruik van een oxydatie-katalysator (zie Intermezzo II) geplaatst in een

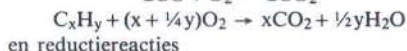
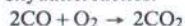
1. Op sommige plaatsen heeft zure regen een verwoestende uitwerking, vooral op naaldbos. De foto toont een extreme situatie in de Harz in de Bondsrepubliek Duitsland.

## Katalyse

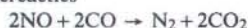
Een katalysator is een stof die de snelheid beïnvloedt waarmee een chemische reactie verloopt. Een reactie kan door een katalysator versneld worden, maar ook, indien meerdere reacties mogelijk zijn, kan in aanwezigheid van een katalysator een bepaalde reactie de voorkeur krijgen. Het resultaat kan zijn dat een reactie bij lagere temperatuur of druk kan plaatsvinden, of dat een gewenst produkt met een hogere opbrengst wordt gemaakt. Katalysatoren worden op grote schaal toegepast: bij circa 90% van de chemische processen op industriële schaal wordt een katalysator gebruikt.

In samenhang met de reacties die gewenst zijn voor het zuiveren van auto-uitlaatgassen is een katalysator noodzakelijk om CO en koolwaterstoffen bij lagere temperaturen om te kunnen zetten in de 'onschadelijke' componenten CO<sub>2</sub> en water. De selectiviteit is van belang omdat er naast de gewenste reacties ook ongewenste reacties kunnen optreden. Men kan de reacties voor het zuiveren van auto-uitlaatgassen als volgt sa-

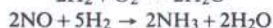
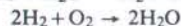
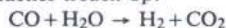
menvatten in oxydatiereacties:



en reductiereacties



Als nevenreacties treden op:



waarbij vooral de laatste ongewenst is.

Behalve de activiteit en de selectiviteit is ook de stabiliteit van een katalysator van belang. Een katalysator moet zolang meegaan dat ook na een aantal jaren nog steeds de gewenste graad van uitlaatgasreiniging wordt bereikt. Amerikaanse normen schrijven een levensduur van de katalysator van 50 000 mijlen voor (circa 80 000 km).

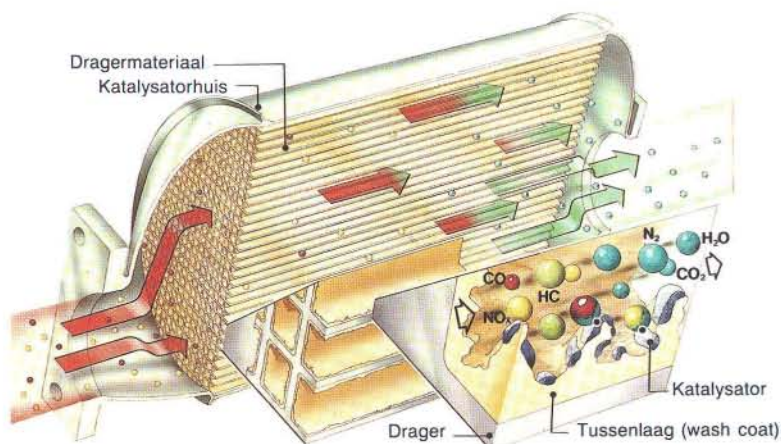
Aangezien voor een katalysator vooral het oppervlak van belang is, omdat de gasmolekulen hier tijdelijk aan moeten binden, tracht men dit zo groot mogelijk te maken. Dit kan door de diameter van de actieve deeltjes te verkleinen. Een kubus met ribben van 1 m heeft een volume van 1 m<sup>3</sup> en een oppervlak van 6 m<sup>2</sup>, terwijl 10<sup>6</sup> ku-





bussen met elk een volume van  $1 \text{ cm}^3$ , een oppervlak hebben van  $600 \text{ m}^2$  bij eenzelfde totaal volume. Kleine deeltjes hebben echter de neiging om bij verhoogde temperatuur aan elkaar te plakken (te *sinteren*) tot grotere brokken. Vandaar dat ze

worden aangebracht als geïsoleerde kleine deeltjes op een hittebestendig oppervlak: het dragermateriaal van de katalysator. Voorbeelden van typische dragermaterialen zijn aluminium-, silicium- en titaniumverbindingen.



II-1. Uitlaatgassen komen van links in de katalysator en stromen door de fijne kanaaltjes in de drager. Op de drager bevindt zich een oppervlaktevergroterende tussenlaag van aluminiumoxyde. Daarop liggen fijnverdeeld de bolletjes katalysator. De tekening toont twee deelvergrotingen.

II-1



2

2 en 3. De driewegkatalysator (2) is de bekendste autokatalysator. Om goed te functioneren moet de motor goed zijn afgesteld. In de dual-bed katalysator wordt eerst voornamelijk  $\text{NO}_x$  gereduceerd. In de tussenruimte wordt lucht toegevoerd, waarna in de tweede ruimte de oxydatiereacties plaatsvinden.



3

doos (converter) in de uitlaat van de auto, een goede mogelijkheid zou kunnen bieden om de uitstoot van koolwaterstoffen aanzienlijk te verminderen.

Het probleem van de smog nam inmiddels zulke vormen aan, dat de staat California als eerste met wettelijke voorschriften kwam om aan de uitstoot van auto-uitlaatgassen paal en perk te stellen. In de jaren zestig woedde een levendige discussie omtrent de wenselijkheid van de auto-uitlaatgasreiniging en de praktische en technische haalbaarheid ervan. De wensen waren gebaseerd op de redenering dat smog op het niveau van vóór de Tweede Wereldoorlog geen probleem vormde en dat de totale emissie door auto's daarom moest worden teruggebracht tot dat niveau. Gezien de enorme toename van het wagenpark zou dit een reductie van de uitstoot met ongeveer 70% betekenen. Eén van de belangrijkste technische vindingen uit die tijd was dat zeer fijne platina-deeltjes, van enkele nanometers diameter, aangebracht op een aluminiumoxydeverbinding de oxydatie van koolwaterstoffen enorm

versnelt. Ook werd ontdekt dat er een speciale structuur, honingraat of monoliet genoemd (afb. II-1), van dat oxyde noodzakelijk is om in de korte tijd die het uitlaatgas in de converter verblijft voldoende koolwaterstoffen om te zetten, zonder dat dit leidt tot verstoppingen van de uitlaat. Bovendien kwam men tot de conclusie dat de in de benzine aanwezige hoeveelheid lood, toen noodzakelijk voor een hoog octaangetal, drastisch verlaagd moest worden om de katalysator niet te vergiftigen.

Onder invloed van de publieke opinie en de technische vooruitgang op het gebied van katalytische uitlaatreiniging werd in 1970 in de Verenigde Staten de Clean Air Act aangenomen, die een wettelijke basis vormde voor controle van uitlaatgassen. De maximaal toegestane emissies waren gebaseerd op de eis van reductie van de totale emissie tot het niveau van vóór de Tweede Wereldoorlog en bedroegen:  $0,41 \text{ g-mijl}^{-1}$  koolwaterstoffen;  $3,4 \text{ g-mijl}^{-1}$  CO en  $0,4 \text{ g-mijl}^{-1}$   $\text{NO}_x$ .

Deze eisen gelden vanaf 1975, met een uitzondering voor de  $\text{NO}_x$ -emissie, waarvoor nog



steeds een ontheffing bestaat tot  $1,0 \text{ g-mijl}^{-1}$ . De wettelijk vastgestelde limiet is hierbij technisch moeilijk haalbaar.

### Het lucht-brandstofmengsel

De hoeveelheid zuurstof in het uitlaatgas is van cruciaal belang voor het effectief laten verlopen van de afbraak van  $\text{C}_x\text{H}_y$  en CO in de katalysator (Intermezzo II). De hoeveelheid zuurstof in het uitlaatgas en trouwens ook de concentraties  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$  en CO worden voornamelijk bepaald door de verhouding lucht/brandstof in het mengsel dat aan de motor wordt toegevoerd. De ideale lucht-brandstofverhouding die nodig is voor een stoichiometrische verbranding bedraagt ongeveer 14,6, dus 14,6 volumedelen lucht op 1 deel brandstof. De relatieve lucht-brandstofverhouding ( $\lambda$ ) van dit mengsel is per definitie 1. Bij waarden van  $\lambda < 1$  spreken we van een benzinerijk mengsel. Het uitlaatgas ervan bevat relatief veel CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$  en relatief weinig  $\text{NO}_x$  en zuurstof. Voor waarden van  $\lambda > 1$  is het mengsel arm en het uitlaatgas bevat relatief weinig CO en  $\text{C}_x\text{H}_y$ , maar veel zuurstof en  $\text{NO}_x$ .

Voor zeer arme mengsels neemt de uitstoot van  $\text{NO}_x$  af en die van  $\text{C}_x\text{H}_y$  weer toe door onvolledige verbranding (zie afb. 4).

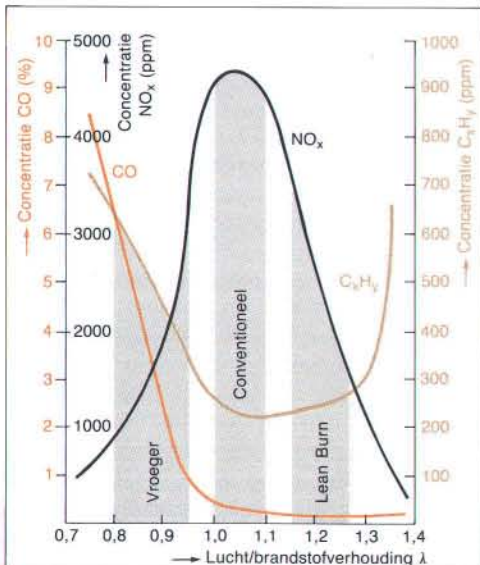
### Minder schadelijke stoffen

De vermindering van de concentraties schadelijke uitlaatgassen is zowel mogelijk door modificaties aan de motor als door toepassing van katalysatoren.

Van modificaties aan de motor zullen hier slechts enkele voorbeelden worden genoemd. De veranderingen hebben betrekking op onder andere een toename in de compressieverhouding, hetgeen leidt tot een ietwat hogere lucht-brandstofverhouding. Zo'n armer mengsel heeft een lagere emissie van CO en koolwaterstoffen tot gevolg. Door de geometrie van de cilinders te wijzigen is het mogelijk een betere verbranding te realiseren. Andere specifieke en te realiseren maatregelen zijn uitlaatgasrecirculatie via de motor en het inblazen van lucht in de uitlaat.

Recirculatie van uitlaatgas betekent dat een gedeelte van het uitlaatgas wordt teruggevoerd naar de motor. Dit resulteert in een lagere temperatuur tijdens de verbranding waardoor de  $\text{NO}_x$ -uitstoot omlaag gaat.

Inblazen van lucht in de uitlaat heeft als gevolg een soort naverbranding van CO en onverbrande koolwaterstoffen in de hete uitlaat. Momenteel experimenteren de autofabrikanten veel met de zogenaamde hoge-compressie/arme-mengselmotoren (High Compression Lean Burn, HCLB). Door de moeilijke ontsteking van de daarin gebruikte arme-brandstofmengsels is de uitstoot van  $\text{C}_x\text{H}_y$  echter nog te hoog om aan de eisen van de Amerikaanse en Japanse wetgeving te voldoen. Voor die waarden van  $\lambda$  waarbij de uitstoot van stikstofoxyden binnen de hedendaagse emissie-eisen valt, vertonen de HCLB-motoren nog een tamelijk slecht rijgedrag. De HCLB-motoren die nu al op de markt zijn werken bij een lucht-brandstofverhouding van 18, wat dus een veel armer mengsel is dan de huidige motoren gebruiken. Die motoren leveren weliswaar een veel lagere uitstoot van stikstofoxyden, maar overigens voldoen ze niet aan de emissie-eisen. HCLB-motoren hebben daarom een oxydatiekatalysator nodig om de uitstoot van koolwaterstoffen binnen de wettelijke normen te houden.



4

4. Drie concentraties in uitlaatgassen als functie van de relatieve lucht-brandstofverhouding  $\lambda$ . Typische  $\lambda$ 's voor drie motortypen zijn in grijs weergegeven.





5

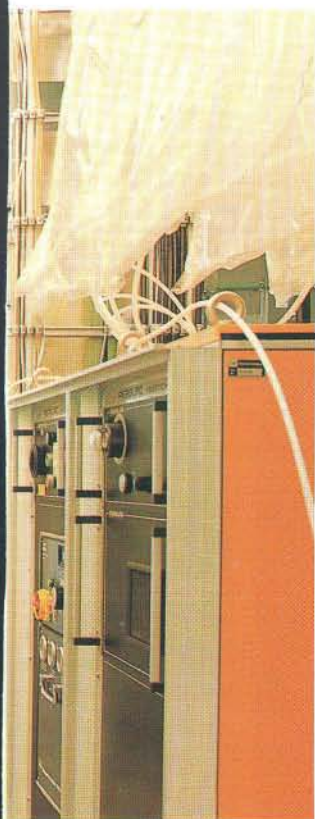
### Katalytische zuivering

Voor de huidige motoren is een efficiënte katalytische zuivering van het uitlaatgas van zowel CO en  $C_xH_y$  enerzijds, als  $NO_x$  anderzijds, alleen mogelijk binnen een zeer nauw gebied van  $\lambda$ -waarden rondom  $\lambda=1$ . Dat gebied heet het  $\lambda$ -venster. Het is eenvoudig in te zien dat buiten dit gebied katalytische zuivering niet mogelijk is: als  $\lambda < 1$ , is de uitstoot van CO en  $C_xH_y$  relatief hoog door de onvolledige verbranding en is de hoeveelheid zuurstof te klein om deze stoffen katalytisch te oxyderen; als  $\lambda > 1$ , bevat het uitlaatgas zoveel zuurstof en zo weinig CO en  $C_xH_y$ , dat reductie van  $NO_x$  niet mogelijk is. Het  $\lambda$ -venster heeft een breedte van 0,10  $\lambda$ -eenheden. Dit houdt in dat een afdoende reiniging alleen mogelijk is als  $0,95 < \lambda < 1,05$ . Deze nauwe begrenzing van de lucht-brandstofverhouding betekent dat een conventionele afstelling van de auto een onvoldoende controle op

$\lambda$  geeft. Bij accelereren wordt  $\lambda$  veel kleiner en bij remmen groter dan 1. Daarom wordt bij het overgrote deel van de met een katalysator uitgeruste auto's de verhouding van het lucht-brandstofmengsel elektronisch gestuurd. Het meet- en regelsysteem bestaat uit een zuurstof-sensor die vlak achter de uitlaat van de motor zit. Deze sensor meet de zuurstofconcentratie in het uitlaatgas en stuurt dit gegeven naar een processor. Die berekent, soms ook nog gevoed met andere gegevens over de 'toestand' van de auto, wat de optimale lucht-brandstofverhouding voor de auto onder die condities is en stuurt vervolgens het brandstofinjectionssysteem bij.

Er zijn momenteel twee typen katalysatoren ontwikkeld. Het meest bekend is de zogenaamde *driewegkatalysator* (afb. 2). Dit is een in de uitlaat van de auto geplaatste, met katalysator gevulde doos waarin drie processen tegelijkertijd plaatsvinden: CO moet oxyderen





5, 6 en 7. De effectiviteit van een katalysator verschilt per motortype en varieert sterk met de snelheid en met de temperatuur van de uitlaatgassen. Onderzoek aan de autokatalysator voert men in eerste instantie uit in laboratoriumsituaties (5), waarbij vele gegevens over de motor en de werking van de katalysator door computers verwerkt worden (6). Nieuwe katalysatortypen of hun regelsystemen test men dikwijls op losstaande motoren. Een oververhittingsproef biedt dan een spectaculaire aanblik (7).

tot  $\text{CO}_2$ ;  $\text{C}_x\text{H}_y$  tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ , terwijl  $\text{NO}_x$  moet reduceren tot stikstof. Deze configuratie vereist een zeer nauwgezette regeling van de lucht-brandstofverhouding. De term drieweg-katalysator is overigens een foutieve vertaling van het Amerikaanse three way converter, waarin de 'three ways' slaan op het drievoudige proces.

In de *dual-bed convertor* zit de katalysator in twee aparte, in serie geschakelde dozen in de uitlaat (afb. 3). In de eerste doos bevindt zich een katalysator die vooral geschikt is om stikstofoxyden te reduceren. Tussen de eerste en de tweede doos bevindt zich een inlaatpijpje waardoor een pompje extra lucht in de tweede doos brengt, om daar de oxydatiereacties katalytisch te laten verlopen. Deze configuratie vergt een iets minder stringente regeling maar vereist een grotere hoeveelheid katalysator.

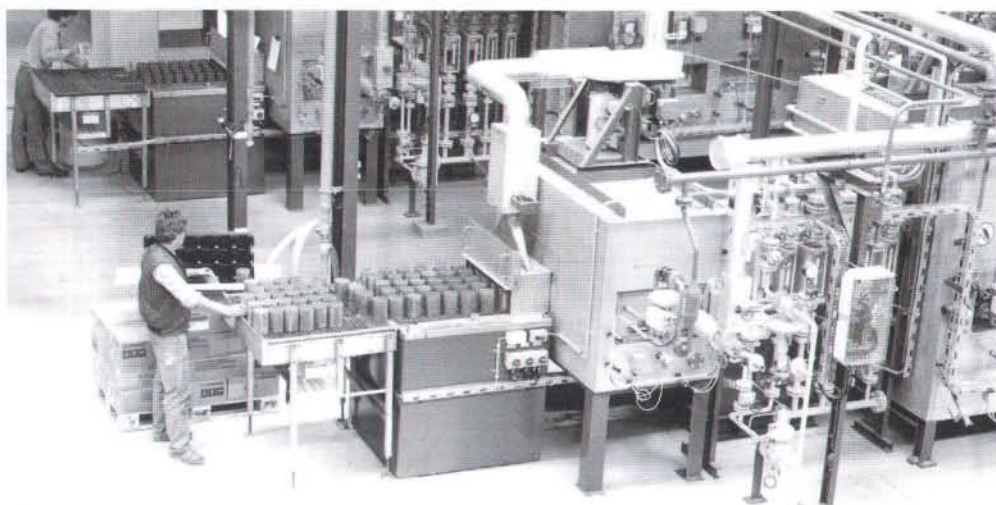
Ondanks alle inspanningen op het gebied van onderzoek naar en ontwikkeling van katalysatoren op basis van niet-edelmetalen voor de zuivering van auto-uitlaatgassen, vinden overal, behalve in de Volksrepubliek China, uitsluitend katalysatoren op basis van edelmetalen commerciële toepassing. Tot nu toe is de activiteit van de edelmetalen, met name platina en rhodium, onovertroffen. Ook de levensduur van deze katalysatoren is uitstekend, daar zij niet of nauwelijks vervuild raken door stoffen in de uitlaatgassen. Bovendien zijn deze metalen, voornamelijk dank zij hun hoge smeltemperatuur, relatief goed bestand tegen de zeer hoge temperaturen die in een uitlaat kunnen voorkomen.

Het katalysatormateriaal wordt soms in de vorm van kleine bolletjes toegepast, maar meestal in een cilindervorm waarin overlangs vele nauwe kanaaltjes lopen.

Bolvormige katalysatoren komen nog maar sporadisch voor. Ze worden gemaakt door een aluminium drager te impregneren met een op-

TABEL 3 EG tijdschema voor introductie van katalysatoren in auto's zoals besloten in 1985

| Motorinhoud<br>(liter) | Proef | Invoering | Emissie eisen (g/test) |   |                          |
|------------------------|-------|-----------|------------------------|---|--------------------------|
|                        |       |           | CO                     | NO <sub>x</sub> + C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | NO <sub>x</sub> -aandeel |
| <1,4                   | 1990  | 1991      | 45                     | 15  | 6                        |
| 1,4-2,0                | 1991  | 1993      | 30                     | 8   | —                        |
| >2,0                   | 1988  | 1989      | 25                     | 6,5   | 3,5                      |



8

lossing van de actieve componenten, deze te drogen en vervolgens aan een temperatuurbehandeling bloot te stellen.

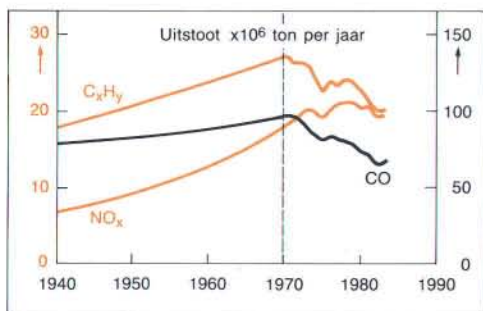
Het meest toegepast zijn cilindervormen die bestaan uit een silicium-aluminiumverbinding zoals cordieriet of mulliet. De parallelle kanalen in de cilinder zijn gescheiden door zeer dunne wandjes. Dit basismateriaal heeft een zeer lage thermische expansiecoëfficiënt, waardoor het uitstekend geschikt is voor gebruik bij hoge en sterk variërende temperaturen. Bovendien is het zo schokbestendig dat toepassing in een auto goed mogelijk is. Een nadeel van deze structuur is het vrij kleine oppervlak, ondanks de vele kanaaltjes. Om de katalysator, de edelmetalen, in de vorm van zeer kleine deeltjes (2 nm) op een groter oppervlak te kunnen spreiden, wordt tussen de basisstructuur en de actieve componenten een dunne laag aluminiumoxyde met een hoog spe-

cifiek oppervlak aangebracht (de *wash coat*). Deze laag zorgt ervoor dat de actieve materialen in de vorm van zeer kleine deeltjes verspreid kunnen worden (afb. 11).

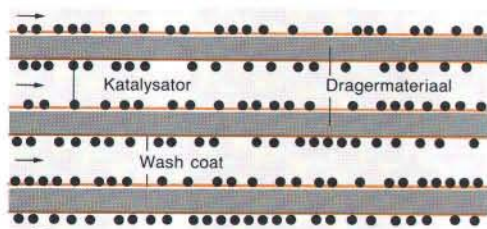
### Perspectief voor Europa

De toepassing van katalysatoren in auto's om uitlaatgassen te zuiveren is, sinds de introductie in 1975 in de Verenigde Staten, uitgegroeid tot een volwassen technologie, ook in Japan. De gebruikte katalysatoren worden steekproefsgewijs getest en nieuw automodellen worden, voor ze op de markt worden gebracht, ook onderzocht op levensduur van het katalysatorsysteem. De uiteindelijke effectiviteit van de zuivering valt of staat met een blijvend goed functioneren van de katalysator. Onderzoek in Amerika heeft aangetoond dat in circa 80% van de gevallen de katalysator





9



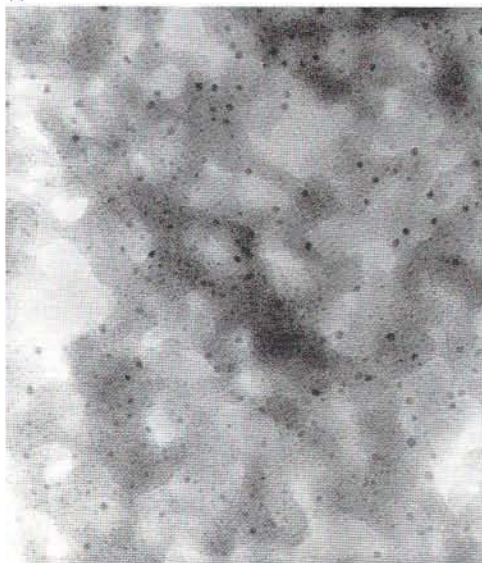
10

8. Een productielijn voor het dragermateriaal voor auto-katalysatoren.

9. Sinds de invoering van de eerste katalysatoren in de Verenigde Staten neemt de jaarlijkse uitstoot aan  $C_xH_y$  en CO af; de  $NO_x$ -uitstoot is gestabiliseerd. Het streven is het niveau van voor 1940 te bereiken.

10 en 11. Een schema (10) van de drager-, tussenlaag-, katalysatorcombinatie in een autokatalysator. De foto (11) is een elektronenmicroscopische opname die katalysatorbolletjes met een diameter van ongeveer 1 mm laat zien.

11



zijn werk in voldoende mate uitvoert. Mede door invoering van deze katalysatoren zijn de emissies van CO en  $C_xH_y$  in de afgelopen jaren sterk gedaald (afb. 9), ondanks een continue toename van het aantal auto's. Wat betreft CO is de totale emissie op dit moment lager dan in 1940. Voor  $C_xH_y$  is zij nog een fractie hoger, maar de dalende trend in de afgelopen jaren is duidelijk. Bij  $NO_x$  is de vermindering van de emissie nog niet zo duidelijk; de toename is echter tot staan gebracht. Dit komt onder meer doordat de hedendaagse auto's de brandstof efficiënter verbranden. De daarmee gepaard gaande hogere verbrandingstemperaturen leiden tot extra  $NO_x$ -productie. In West-Europa staat de invoering van katalysatoren in de auto's nog in de kinderschoenen. Volgens het nu geldende tijdschema (zie tabel 3) dienen binnen de EG vanaf 1989 nieuwe auto's met een motorinhoud van meer dan 2,0 liter met een katalysator te zijn uitgerust.

De situatie binnen de EG verschilt in zoverre van de situatie in de Verenigde Staten en Japan dat door het ontbreken van snelheidslimieten op bijvoorbeeld de Duitse snelwegen, de temperaturen waaraan de katalysatoren worden blootgesteld, daar hoger zijn. Verwacht wordt dat dit geen groot technisch probleem zal vormen.

#### Bronvermelding illustraties

Degussa, Fachbereich Forschung Chemie, Hanau, BRD: pag: 538-539, 3, 5, 6, 7, 8

ABC-press, Amsterdam: 1

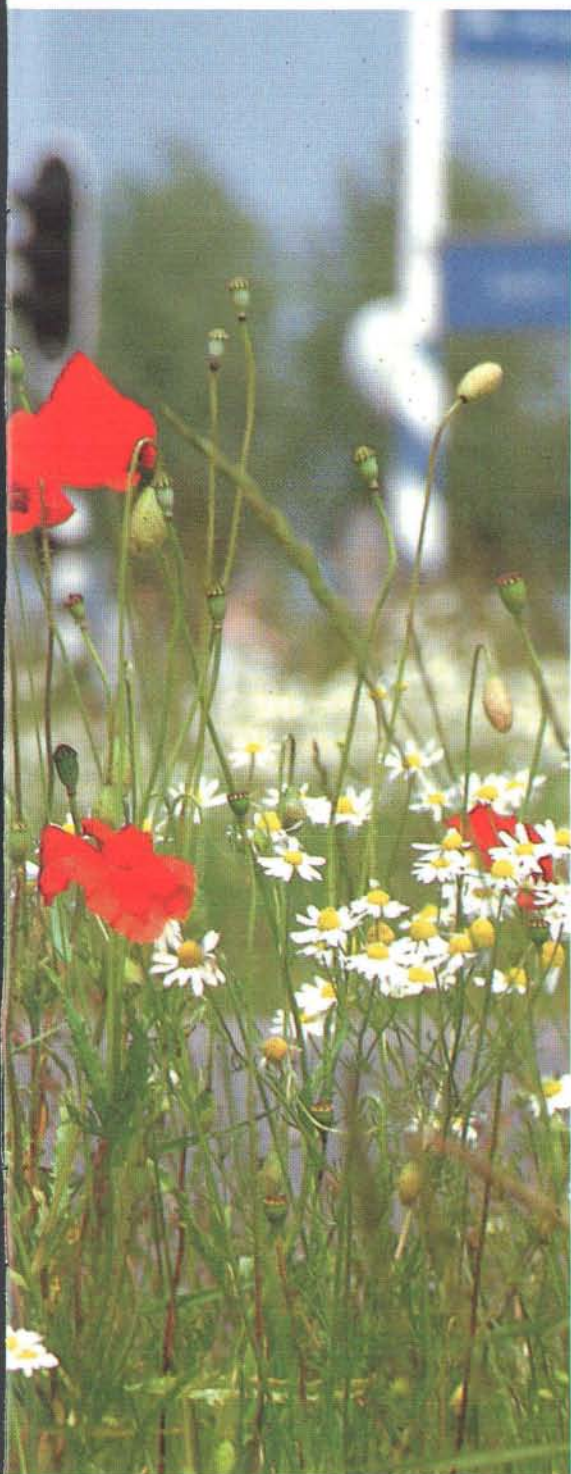
Pon's Automobielhandel BV, Amersfoort: II-1, 2

De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.



Gewone klaproos en echte kamille sieren een berm langs een autosnelweg. Deze twee soorten zien we alleen in een berm die nog niet erg oud is. Een zorgvuldig bermbeheer kan het enorme oppervlak aan wegbermen veranderen in biologisch waardevolle gebieden, waar het voor diverse soorten planten, insecten en kleine zoogdieren goed toeven is, ondanks het langszazend verkeer.





H.P.M. Hillegers  
*Meerssen*

# DE BONTE BERM

De meeste weggebruikers zoeven er langs. Soms, bij overweldigende kleurenpracht, maakt men er naar elkaar een enkele opmerking over. Natuurliefhebbers krijgen echter steeds meer belangstelling voor de flora en fauna van wegbermen. De reden daarvoor ligt in de biologische verarming van het cultuurlandschap. Waar vroeger nog veel kleinschalige, soortenrijke graanakkers en graslanden bestonden, zien we nu grootschalige monotone cultuurgronden die weinig diversiteit te bieden hebben. De wegberm heeft in dat landschap geen produktiefunctie en kan daardoor een toevluchtsoord zijn voor soorten die uit akkers en weiden zijn verdronen. Door een zorgvuldig beheer, zo is de afgelopen jaren geleerd, kan de wegberm weer bont worden.

De recente belangstelling voor wegbermen heeft te maken met een veranderde mentaliteit van de natuurliefhebber. Hij beseft tegenwoordig dat geen enkel landschap in de lage landen volkomen natuurlijk is. Wegbermen zijn, evenals bijvoorbeeld extensief gebruikte hooi- en graslanden, als halfnatuurlijk te beschouwen. De produktiefunctie staat niet voorop, de er voorkomende soorten zijn meestal niet ingezaaid en vertonen een natuurlijke rangschikking. Juist de mens zorgde er met zijn voortdurende, maar terughoudende beheer voor, dat deze halfnatuurlijke vegetaties vaak zo bijzonder soortenrijk zijn. We zien aan de titels van enkele recent verschenen natuurboeken ('Linten in het landschap', 'Langs 's Heren wegen', 'Holle wegen in Limburg' en 'De bonte berm') dat tegenover de beangstigende realiteit van het steeds monotone cultuurlandschap de optimistische gedachte bestaat dat door het toepassen van bepaalde beheertechnieken een aanzienlijke variatie van levensvormen in stand gehouden en zelfs vergroot kan worden.

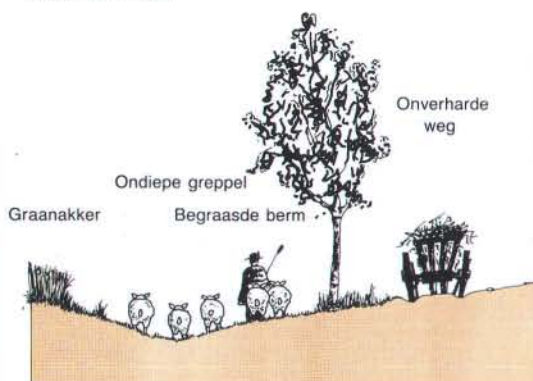
### Oude en nieuwe wegen

Zelfs na een oppervlakkige vergelijking van het wegennet binnen het Nederlandse taalgebied rond 1800 en 1988 aan de hand van gedetailleerde topografische kaarten, kan men vaststellen dat de dichtheid van het wegennet in die periode aanzienlijk is toegenomen. Dat geldt met name voor stedelijke gebieden en voor de sinds die tijd in cultuur gebrachte terreinen, zoals de voormalige uitgestrekte heidevelden. Voor de oude cultuurlandschappen geldt dit in mindere mate: rond een willekeurig dorp in de Haspengouw of in Friesland is het wegennet tegenwoordig nog vrijwel gelijk aan dat in 1800, tenzij er op een grove manier is ruilverkaveld.

Het bovenstaande houdt in dat het totale oppervlak aan wegberm aanzienlijk is toegenomen. Op grond hiervan zou men mogen verwachten dat het aantal potentiële groeiplaatsen voor wilde planten in dezelfde mate verhoogd is. Dat is echter een vergissing. De meeste wegen en vele bermen zijn verhard met tegels, beton of asfalt en ongeschikt als substraat voor plantengroei.

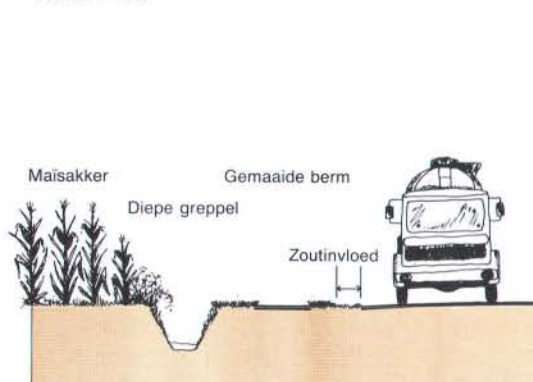
Vergelijken wij bijvoorbeeld de voorloper van een Napoleontische weg rond 1800 met

Provinciale weg Roermond-Echt  
Toestand  $\pm$  1800



1

Provinciale weg Roermond-Echt  
Toestand 1988

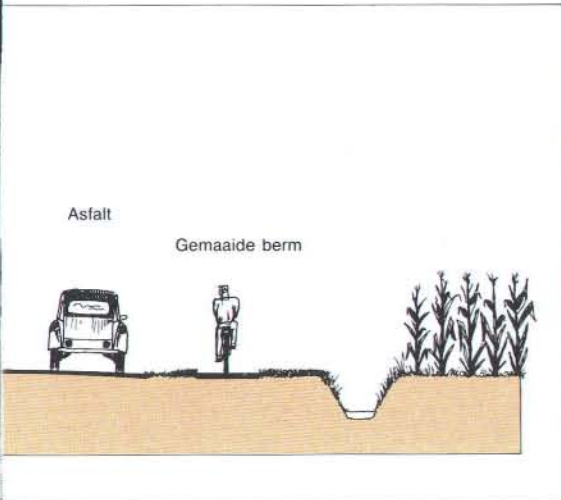
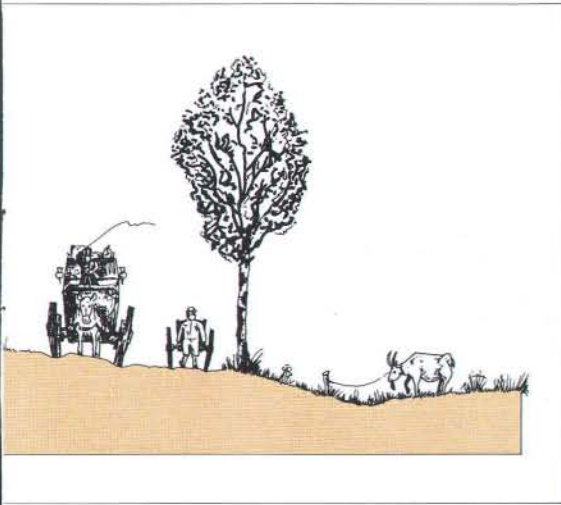


2

diezelfde weg zoals hij er tegenwoordig uitziet, dan kunnen een aantal verschillen aangewezen worden die een grote invloed hebben op de variatie van de bermflora (afb. 1 en 2).

Het grootste verschil schuilt in de ruimte die voor vegetatie beschikbaar is; onverharde wegen vertonen ook naar opzij een grote betredingsgradiënt en kennen tredplantgemeenschappen die in de bermen van verharde wegen vrijwel ontbreken. Een ander belangrijk verschil betreft de grens van de berm en het cultuurland. In de oude situatie is er sprake van een brede zoom waar berm- en cultuurland-





1, 2 en 3. De provinciale weg tussen Roermond en Echt is een oude route die rond 1800 ongeveer net zo breed was als nu, alleen is het gebruik van berm en weg sterk veranderd. Vroeger (1) was het een onverharde zandweg met slingerende karresporen en begroeide stroken, waarover bespannen wagens, postkoetsen en marskramers reden en liepen. In de brede en glooiende berm, geleidelijk overgaand in boerenland, trokken schaapskudden door, terwijl daar ook de plaatselijke dagloner zijn geiten liet grazen. Tegenwoordig (2) wordt de grootste breedte ingenomen door vegetatieloos asphalt, aan beide zijden geflankeerd door fietspaden. Berm en akkers zijn gescheiden door steile greppels. Tussen weg, fietspaden, greppels en akkers liggen scherpe grenzen. Een deel van de smalle berm is verzilt door het zout dat 's winters overvloedig wordt gestrooid; een ander deel wordt minstens eenmaal per jaar gemaaid. In de oude situatie waren de overgangen tussen de gebieden die verschillend werden gebruikt vaag. In de nieuwe situatie bestaan scherpe gradienten, zoals ook op de foto (3) te zien is. Dat deze veranderingen de diversiteit van flora en fauna negatief beïnvloeden, behoeft nauwelijks betoog.



3

vegetatie in elkaar overgaan. Langs de huidige wegen is deze grens zeer abrupt; (graan)akkeronkruiden en soorten van schrale graslanden komen zo nog maar beperkt voor.

De verspreidingsmogelijkheden van sommige plantensoorten zijn vanouds afhankelijk van het gebruik dat van de weg is gemaakt. Ook zo ontstaan aanzienlijke verschillen tussen vroeger en nu in de soorten die in de bermen worden aangetroffen. Uit diverse bronnen is bekend dat vee-transporten vroeger in kuddeverband gebeurden. Herders vervoerden kudden schapen, runderen en varkens vaak

over grote afstanden. Tijdens de reis vonden de dieren hun voedsel deels in de wegbermen. Ook de dorpsheerders lieten hun vee van de wegbermvegetatie eten tijdens de dagelijkse rondgang van de kudde. Tegenwoordig berust het beheer van de berm niet meer op begrazing, maar op maaien. Deze verandering heeft een enorme invloed op de botanische samenstelling van de berm. Vrijwel verdwenen zijn de soorten die zich als zaad door vee laten verspreiden, doordat het kiemkrachtig blijft na een passage door het maag-darmkanaal, of doordat het zaad in de vacht blijft hangen.



## Een nieuw beheer

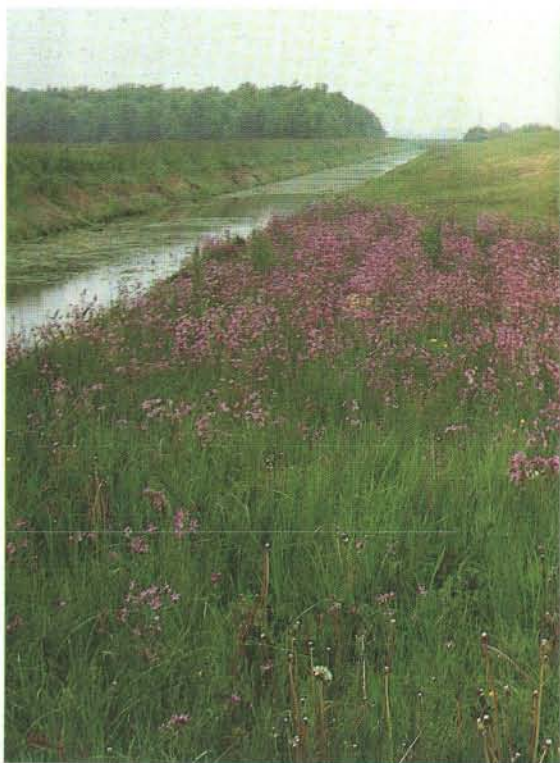
Niet alleen zijn er veel nieuwe wegen aangelegd en bestaande wegen verbeterd, er wordt ook veel meer aandacht besteed aan het wegmeubilair, ook met als doel het weggebruik te optimaliseren. In dit tijdsbeeld past het naoorlogse snelwegennet, rijkelijk beplant met paaltjes, verkeersborden en wegwijzers, omzoomd door frequent gemaaide gazonachtige wegbermen.

Sinds het midden van de jaren zeventig is het beheer van de wegbermen duidelijk geëxtensiverd. Alleen in een strook van ongeveer één meter van het asfalt moet de vegetatie om veiligheidsredenen kort blijven, maar daarbuiten is voor de weggebruikers een hoogte van 30 tot 40 cm geen bezwaar. Bij de aanleg van nieuwe, of de reconstructie van oude wegen gebruikt men grassoorten die minder biomassa produceren en dus minder vaak gemaaid hoeven te worden. Door aanplant van houtige soorten kan voor delen van de berm het beheer teruggebracht worden tot eenmaal in de vijf jaar kappen.

De extensivering heeft echter niet overal tot de gewenste resultaten geleid. Plaatselijk ontwikkelden zich ruigtes, onder andere van brandnetels. Bovendien vervulde de grasmat, waardoor één- of tweejarige kruiden, die vaak mooi bloeien, niet in staat waren zich te vestigen; de berm bleef daardoor saai groen.

De Nederlandse overheid gaf enkele jaren geleden onderzoekers aan de Landbouwuniversiteit in Wageningen de opdracht te onderzoeken of daaraan iets te veranderen viel. Hoewel de onderzoeken vooral inventariserend waren, en over het uit te voeren beheer alleen adviezen konden worden uitgebracht, merken we toch dat de ideeën van de ecologen aanslaan. Na enige jaren experimenteren en het invoeren van een ander maaibeheer zien de bermen van de autowegen er heel anders uit dan de 'groene leegte' die we ons nog herinneren uit het vorige decennium. De bermen zijn bonter en fleuriger geworden doordat men pas maait als de bloeiende kruiden zaad hebben gezet.

Een andere belangrijke maatregel die steeds meer ingang vindt, is het afvoeren van het maaisel. Men liet dat enige jaren geleden nog liggen omdat het als hooi ongeschikt was voor consumptie door dieren, onder andere vanwege het hoge loodgehalte. Het verterende strooi-



4

4 en 5. Een mogelijke ingrijpende beheersmaatregel is het omvormen van het steile talud van een berm tot een glooiing. Het lage deel kan dan vochtig worden, waardoor een interessante biotoop ontstaat. Het resultaat is op afbeelding 4 te zien. Aanvankelijk lijkt zo'n maatregel een brute en natuurverstorende ingreep (5), maar na een aantal jaren zorgvuldig beheer zal ook hier een prachtige berm ontstaan, zoals de verlaagde overhoek op afbeelding 4 aantoont.

sel verstikt de bodem en bij de rotting komen mineralen vrij die voor een extra groei in het volgende seizoen zorg dragen. Ook de zogenaamde klepelmaaier, die het maaisel in kleine fracties verdeelt, heeft diezelfde verstikkende en eutrofiërende werking. Het afvoeren van het maaisel heeft een verschralend effect op het substraat van de berm; de voedingsstoffen in de afgemaaide plantendelen worden onttrokken aan het systeem. Er zijn veel meer plantesoorten, waaronder vele kruiden, aan voedselarme bodems aangepast dan aan rijkere. Daardoor raken deze bermen op wat lange termijn begroeid met vele soorten laagproductieve grassen en kruiden.



## Halofyten

Naast de nieuwe soortensamenstelling die optreedt door een ander beheer, zijn er meer factoren die de aanwezigheid van bepaalde plantensoorten beïnvloeden. Eén van die factoren is de invloed van strooizout. De gladheidbestrijding heeft de laatste jaren op de doorgaande wegen zulke vormen aangenomen dat het milieu langs de randen van het asfalt vaak sterk verzilt is. Zoutverdragende planten, of *halofyten*, zijn dan ook sterk in opmars langs de wegen. Halofyten hebben zich aan een zoutconcentratie in het water aangepast door een actieve uitscheiding van een teveel aan zout, of door een inactiverende opslag van het teveel aan ionen in het celvocht. Het is opvallend dat



6, 7, 8 en 9. Plaatselijk zijn in bermen soorten te zien als pastinaak (*Pastinaca sativa*) (6), aardaker (*Lathyrus tuberosus*) die zich rond boerenwormkruid (*Tanacetum vulgare*) slinger (7), glanshaver (*Arrhenatherum elatius*) (8) en cichorei (*Cichorium intybus*) (9).



5

6



7



8



9





## Kamillesoorten als indicatoren

Kamille-thee is een overbekend huismiddeltje dat bij verkoudheden en andere infecties van mond en luchtwegen voor verlichting zorgt. Daartoe worden de gedroogde bloemhoofdjes met kokend water overgoten. De patiënt kan de kruidige damp opsnuiven of met de thee de mondholte spoelen. De bloemhoofdjes zijn afkomstig van de echte kamille (*Matricaria recutita*), een nog algemeen voorkomende wilde plant die vroeger massaal in graanvelden te vinden was, en momenteel op allerlei braakliggende terreinen wordt aangetroffen. De overheersende bittere geur en dito smaak moet worden gezien als een verdedigingsmechanisme van de soort tegen vraat. De reukeloze kamille (*Matricaria inodora* (= reukeloos) geheten, draagt de soortnaam *maritima* terecht; het is een typerende soort voor de hoge kwelder en kan het zoute zeewater periodiek over zich heen laten gaan zonder daarvan schade te ondervinden. Deze soort is eveneens algemeen in Noordwest-Europa en komt ook buiten het milieu van de kwelder voor, onder andere op braakliggende terreinen. In tegenstelling tot de echte kamille is zij meerjarig. De derde *Matricaria*-soort, de schijfkamille of *Matricaria discoidea* is oorspronkelijk afkomstig uit de Nieuwe Wereld en al decennia volledig ingeburgerd aan de randen van wegen en op andere open plekjes in het cultuurland. De soort overwintert als zaad; elk individu blijft nog geen jaar in leven.

Behalve het geslacht waartoe de echte kamille behoort is er nog een geslacht van kamilleachtige soorten inheems in Noordwest-Europa. Begrijpelijkerwijs behoort hiertoe de valse kamille, dat wil zeggen de niet-echte. De wetenschappelijke naam luidt *Anthemis cotula*. Een nauw verwante soort is *A. arvensis*. Beide soorten lijken uiterlijk zeer veel op de echte kamille, maar hun geur is geheel anders. Ze stinken overduidelijk. Merkwaardig is dat de beide *Anthe-*



I-1

10 11



veel halofyten het verlies van water door verdamping verhinderen. Zij lijken daardoor enigszins op woestijnplanten, hoewel ze van nature in Noordwest-Europa in een smalle strook langs de kust groeien, op grond die regelmatig overspoeld raakt.

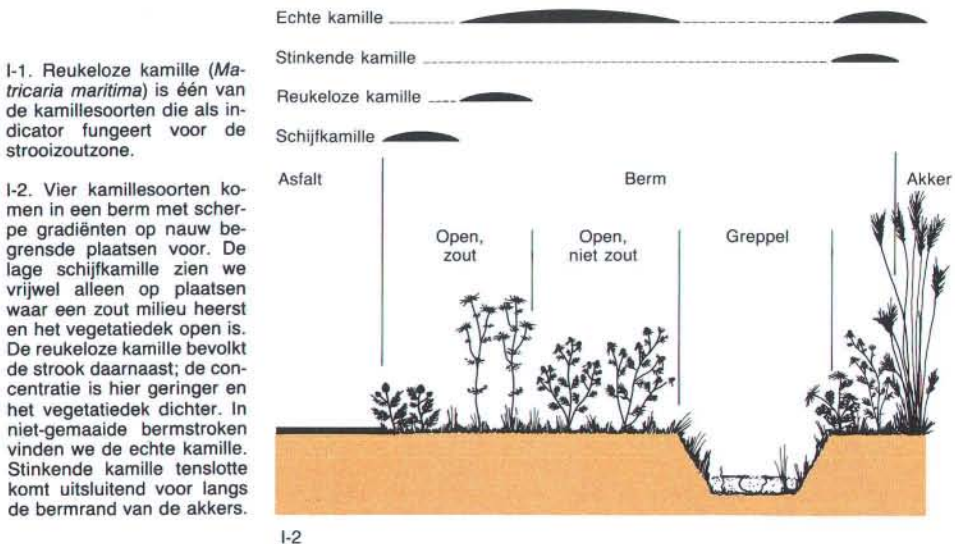
Halofyten karakteriseren het wad en de kwelder; het ene biotoop wordt één keer per etmaal, het andere alleen met springvloed overspoeld. Sinds kort komen halofyten echter ook voor in het binnenland. Vorig jaar groeide de typische, maar onopvallende kwelderplant bleek kweldergras (*Puccinellia capillaris*) massaal op diverse plaatsen langs wegen in Nederlands Zuid-Limburg, ver van de zee. Het op-



missoorten, vroeger algemeen in graanvelden, momenteel zeldzaam zijn geworden en beperkt zijn gebleven tot graanculturen, terwijl de echte kamille, eveneens een graanakkeronkruid, momenteel alternatieve biotopen heeft gevonden en nog steeds algemeen voorkomt.

Drie *Matricaria*soorten komen veelvuldig in wegbermen voor en voor vegetatiekundigen hebben ze een signaalfunctie (afb. II-2). Zien ze schijfkamille dan weten ze dat de grond zout be-

vat. Schijfkamille staat meestal alleen in een smalle strook langs het asfalt. In een eveneens smalle strook verder de berm in, nog onder invloed van zout water staat reukeloze kamille. De echte kamille vinden we in de niet verzilte berm. Aan de rand van de akker staat soms de stinkende kamille, dit is ook het oorspronkelijke milieu van de echte kamille. De verschillende kamillesoorten laten goed zien dat de berm verdeeld is in enkele, vaak zeer smalle zones.



I-2. Vier kamillesoorten komen in een berm met scherpe gradiënten op nauw begrensde plaatsen voor. De lage schijfkamille zien we vrijwel alleen op plaatsen waar een zout milieu heerst en het vegetatiedek open is. De reukeloze kamille bevolkt de strook daarnaast; de concentratie is hier geringer en het vegetatiedek dichter. In niet-gemaaide bermstroken vinden we de echte kamille. Stinkende kamille komt uitsluitend voor langs de bermrand van de akkers.

12



13

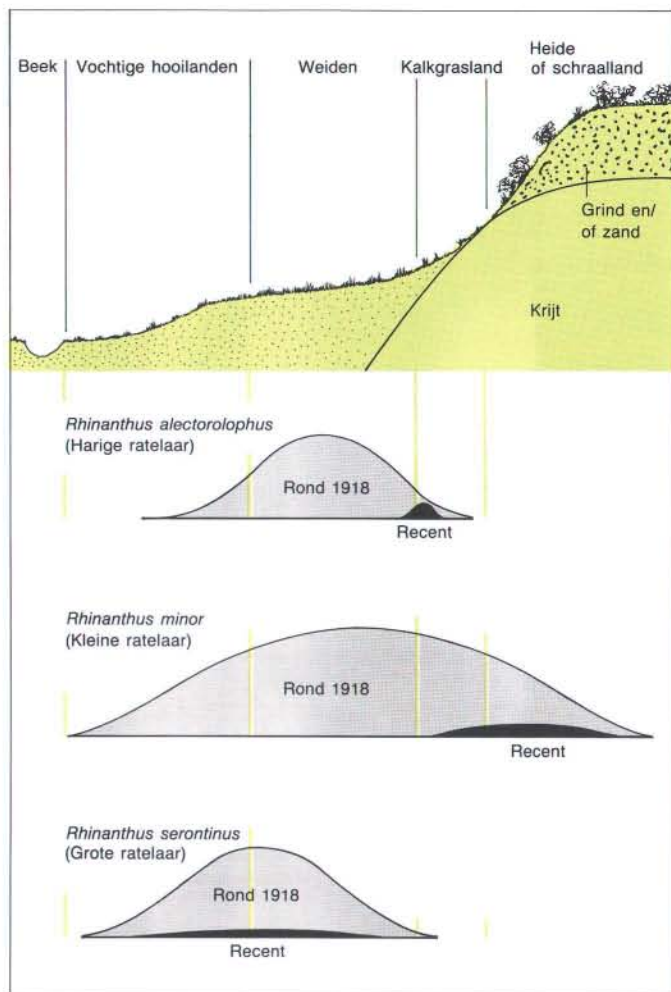


10, 11, 12 en 13. Slecht beheer leidt tot een vervilte grasmatt waarin kruiden geen kans krijgen en die uiteindelijk zichzelf verstikt (10). Maaisel dat blijft liggen zorgt voor een overschot aan mineralen, waardoor brandnetels en distels (11) ongewenste ruigtes gaan vormen. De grote

boosdoener is in dat opzicht de klepelmaaier (12), die het maaisel in kleine stukjes verdeeld achterlaat. Beter voldoet de laag-zwaartepuntmaaier (13) die met een dubbele messenbalk is uitgerust en maaisel produceert dat kan worden afgevoerd.

14. Aan het begin van de eeuw waren in het cultuurland soorten heel anders verspreid dan nu. Een voorbeeld zijn drie soorten ratelaars. Uit waarnemingen van het begin van deze eeuw is bekend dat op de hellingen van de Limburgse beekdalen de ratelaars massaal voorkwamen, volgens een bepaalde verdeling die in de figuur is aangegeven. Door de intensivering van de landbouw zijn de soorten zeer sterk teruggedrongen tot een paar overgangsgebieden en komen nu vrijwel alleen nog voor in bermen en natuurreserveaten. Ratelaars kunnen in het ecologisch beheer van de berm een belangrijke rol vervullen (zie Intermezzo I).

15, 16, 17 en 18. In de winter kan alles onder een dik pak sneeuw liggen, de autosnelwegen blijven berijdbaar (15) dank zij intensief pekelen. De overmaat aan strooizout vernietigt de oorspronkelijke vegetatie vlak langs het asfalt. Soorten die in een zout milieu kunnen leven vestigen zich in de ontstane niche. Engels gras is een voorbeeld van een dergelijke soort. Eigenlijk hoort deze soort in de door zee overspoelde kwelders thuis (17), maar we vinden hem tegenwoordig soms massaal langs de autoweg (16). Een ander voorbeeld van een zouttolerante soort is het Deens lepelblad (18).



14

vallend witbloeiende Deens lepelblad (*Cochlearia danica*) komt al tot bij Eindhoven voor en het rose bloeiende Engels gras (*Armeria maritima*) heeft Gelderland al bereikt.

Een echte verrassing was dit niet. Al eerder was het floristen opgevallen dat bepaalde soorten bloemplanten, behalve op de hoge kwelders, in toenemende mate aangetroffen werden in een smalle zoom langs asfaltwegen. Tot deze categorie van soorten behoort onder andere reukeloze kamille.

Er bestaat een opvallende overeenkomst tussen het milieu van de hoge kwelder en de smalle zoom langs een asfaltweg. Beide gebieden worden regelmatig overspoeld door zowel zout

als zoet water en worden tevens periodiek blootgesteld aan voedselrijke invloeden. In het ene milieu bestaat dat uit aanspoelsels vanuit zee, die langzaam vergaan, in het andere milieu uit wat de weggebruikers achterlaten. Het vegetatiedek van de beide milieus wordt bovendien kortgehouden, op de ene plaats door de bekken en snabels van vee of wilde ganzen, op de andere plaats door de maaibalk van de wegbeheerder.

Slechts weinig inheemse plantensoorten kunnen onder deze sterk dynamische omstandigheden hun gehele levenscyclus voltooien. Het is begrijpelijk dat de nieuw ontstane ecologische *niche* langs de asfaltweg snel wordt geko-





15



16



17



18

loniseerd door soorten die volledig aan een soortgelijk milieu zijn aangepast.

Eenzijds kan de recente uitbreiding van een aantal halofyten langs de Noordwesteuropese wegen gezien worden als een vergroting van de floristische variatie, hetgeen positief is. Anderzijds moet worden geconstateerd dat bij een voortschrijdende verzilting ook dieper wortelende, houtige soorten invloed zullen ondergaan van een toenemende concentratie zouten die voor die betreffende bomen of struiken op een bepaald moment giftig zal zijn. Daarbij moet uiteraard ook gedacht worden aan verdergaande consequenties als de kwaliteitsdaling van het grondwater in waterwingebieden.

### De wegberm, een natuurreserveaat

Uit de verzamelde gegevens van de floristiek der wegbermen valt af te leiden dat het aantal zeldzame soorten in bermen zeer gering is. Verreweg de meeste soorten in de berm (96,5%) komen in Nederland algemeen of zeer algemeen voor. Zelfs in Zuid-Limburg, waar de dichtheid van zeldzame soorten groot is ten opzichte van de rest van Nederland, worden weinig zeldzame soorten in de bermen van geasfalteerde wegen aangetroffen. Ook in België zal deze situatie zich voordoen. Niettemin kan de floristische variatie in wegbermen aanzienlijk zijn en de weggebruiker een bonte in-

druk geven. Dit geldt met name voor brede bermen van autowegen, voor bepaalde dijken (de Zeeuwse bloemdijken) en voor sommige tertiaire wegen (holle wegen in Zuid-Limburg), als daar een goed beheer wordt toegepast. Ook mag worden geconstateerd dat bermen die aan akkers grenzen potentieel rijk zijn aan floristische variatie, vooral langs graanakkers op een zandige bodem.

Vegetatiekundig gezien blijkt de wegberm moeilijk te karakteriseren. De combinaties van plantesoorten die in bermen voorkomen zijn niet alleen soortenarmer, maar ook anders dan de soortenrijke en karakteristieke combinaties van soorten die bekend zijn van vochtige hooilanden, schrale graslanden op zure bodems, of krijthellinggraslanden. Bermvegetaties kunnen alleen op een grove wijze ingedeeld worden. Dit is zonder meer het gevolg van de sterke dynamiek in het bermmilieu, die tot uitdrukking komt in de scherpe begrenzing van veel bermen. Daarnaast speelt de lintvorm van de weg-



19

19. Een rietorchis in de berm. Zeldzame planten komen relatief weinig voor in wegbermen, maar hier en daar zijn ze toch massaal aanwezig, zoals hier in de buurt van Zaanstad.

## Halfparasieten

INTERMEZZO II

Halfparasieten of hemiparasieten zijn plantesoorten die hun voedingsstoffen voor een deel onttrekken aan een gastheerplant. Halfparasieten zijn groen van kleur, ze kunnen weliswaar zelf hun voedsel maken, maar zijn voor de opname van water en de daarin opgeloste mineralen afhankelijk van een gastheer. Daartoe bezitten zij in hun wortelstelsel een soort zuignapjes (*haustoria*), die min of meer vergroeien met de wortels van hun gastheer. In het gebied dat door nederlandstalige flora's bestreken wordt komen diverse soorten halfparasieten voor, de meeste uit de familie der Scrophulariaceae (helmkruidachtigen), een Lorantacee en een Santalacee. De vertegenwoordigers van de twee laatstgenoemde families, met name maretak (*Viscum album*) en bergglas (*Thesium humifusum*) zijn in het kader van wegbermen onbelangrijk; de eerste woekert op bomen en de tweede is beperkt tot kalkrijke duingraslanden en komt in gewone graslandtypen niet voor. Dat geldt wel voor diverse scrophulariaceeën, zoals de drie soorten ratelaar (*Rhinantus*), die elk wel een bepaald type

grasland prefereren, maar, en zeker vroeger, in verscheidene graslandtypen voorkwamen. Ratelaars en hun verwanten zoals wilde weide (*Melampyrum arvense*) en diverse soorten ogentroost zijn aantrekkelijke bloeiers. In het buitenland

II-1. Groot warkruid, woekereend op brandnetel.



II-1



berm een rol; de abnormale verhouding tussen het oppervlak en de omtrek van een vegetatietype langs de weg veroorzaakt dat het minimumareaal van een bepaalde plantengemeenschap vaak niet bereikt wordt.

De beheersadviezen bepleiten in het algemeen gesproken een verschrallend beheer; voedselarme milieu's garanderen meestal een grotere diversiteit aan soorten. Dit moet worden bereikt door het hiervoor al genoemde maaien en afvoeren. Wanneer de vegetatie voldoende stabiel en complex is geworden, mag er nog slechts één maai- en afvoerbeurt per jaar plaatsvinden, liefst strooksgewijs om de in de vegetatie aanwezige insecten en andere faunaelementen de gelegenheid te geven de eerder gemaaide strook te herkoloniseren. Voorts pleiten de vegetatiekundigen, als in zandige gebieden nieuwe wegen worden aangelegd, voor inzaai met inheemse grassoorten die gekenmerkt worden door lage biomassa-productie en die door hun groeiwijze bepaalde kruiden wei-

nig beconcurreren. Op kleine schaal is reeds geëxperimenteerd met halfparasieten (zie intermezzo II).

De diversiteit van de berm kan ook verhoogd worden door maatregelen achteraf; saaie bermen kunnen plaatselijk worden geplagd of opgehoogd met het doel afwisseling van droge en vochtige plekken te laten ontstaan. Lokaal zou een andere grondsoort gebruikt kunnen worden; zand op klei of omgekeerd. Verder zou de begreppeling van de weg-rand afgevlakt kunnen worden, waardoor een flauwere gradiënt ontstaat die zeker soortenrijker zal zijn dan de scherpe grenzen van de huidige profielen. Tenslotte zou door vaste afspraken met agrariërs de uiterste wegrand, grenzend aan akkers, gespaard moeten blijven van herbiciden en andere onkruidbestrijdingsmethoden, zoals dat in de Bondsrepubliek Duitsland al op enige schaal met succes wordt toegepast. De berm kan nog vele malen beter, zelfs bij een extensivering van het beheer!

sieren ze vaak de wegbermen. Bovendien onderdrukken ze door hun hemiparasitaire levenswijze de uitbundige groei van hun gastheren (meest grassoorten). Beide eigenschappen zijn voor de wegbeheerder voordelig; halfparasieten sieren de saaie groene berm en maken een dure maaibeurt overbodig. Bovendien verschaffen hemiparasitaire bloemplanten voedsel in de vorm van stuifmeel en honing aan insecten, hetgeen de variatie van de wegbermfaua ten goede komt.

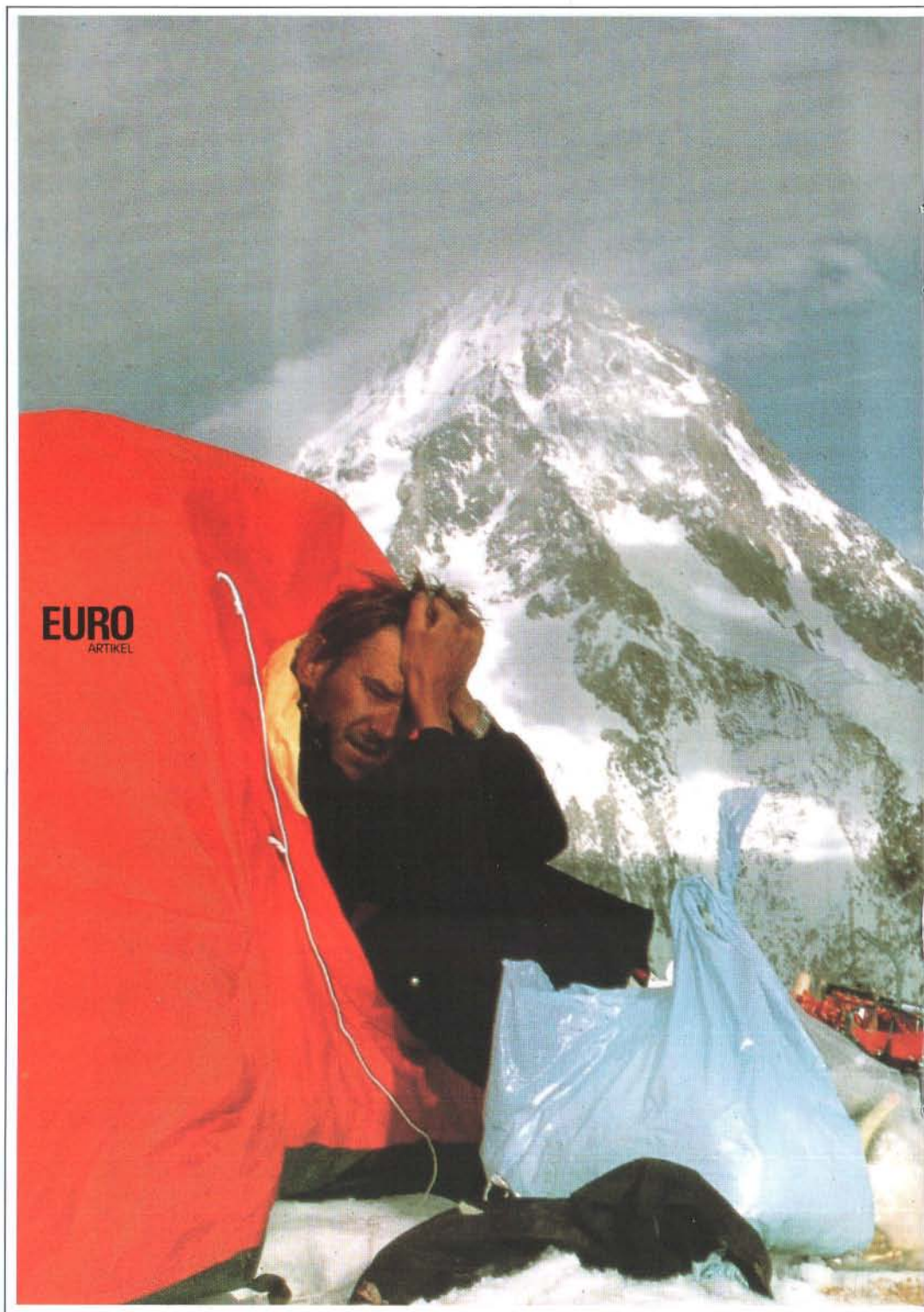
Ook echte parasieten zouden een rol kunnen spelen bij een meer ecologisch gericht beheer van de wegberm; van duivelsnaaigaren (*Cuscuta epithymum*) is bekend dat het opvallend rood-oranje gekleurde matjes vormt op grazige vegetaties en de groei van zijn gastheer aanzienlijk kan belemmeren. Groot warkruid (*Cuscuta europaea*) woekert vrijwel uitsluitend op de grote brandnetel (*Urtica dioica*), een soort die zo algemeen langs wegbermen te vinden is dat hij als een plaag beschouwd kan worden.

#### Literatuur

- Hillegers HPM. Het vegetatiepatroon van de drie Nederlandse rhinanthussoorten (ratelaar) in Zuid-Limburg en het belgische Jekerdal. Rapport Staatsbosbeheer: 1981, nr. 21.
- Koster A. De flora van de Nederlandse Spoorwegen. Rapport van het Ministerie van Landbouw en Visserij. Wageningen: Adviesgroep vegetatiebeheer. Notitie nr. 14. 1988, pp. 292.
- Kwinkelenberg T. Langs 's heren wegen. Utrecht/Antwerpen: Spectrum; 1979, pp. 160.
- Stevens J (red.). Holle wegen in Limburg. Rekem (Lanaken), Uitg. Provinciaal Natuurcentrum, pp. 151 (+ kaarten).
- Sykora KV, L de Nijs en T Pelsma. Plantengemeenschappen in Nederlandse wegbermen en de zeldzaamheids-waarde van de bermflora. De Levende Natuur 1988; nr. 1, p. 14-20.
- Wonink H, M Peck en B Koetzier. Linten in het landschap. Zutphen: Terra; 1987, pp. 154.
- Zonderwijk R. De Bonte Berm. Ede: Zomer & Keuning; 1979, pp. 160.

#### Bronvermelding illustraties

Voor de illustrering van dit artikel mochten we putten uit het rijke archief van de Adviesgroep Vegetatiebeheer, Ministerie van Landbouw en Visserij, Bornsesteeg 69, Wageningen.







Mensen die normaal gesproken op zee-niveau leven hebben tijd nodig om zich aan te passen aan het zuurstofgebrek dat hoog in de bergen heerst. Vooral op zeer grote hoogten kost het klimmen steeds meer moeite. Bovendien houdt het lichaam steeds meer vocht vast en slaap je er doorgaans slecht. Toch blijven de bergen lokken.

**Jean-Paul Richalet**

*Association pour la recherche  
en physiologie de l'environnement  
Créteil, Frankrijk*

## AANPASSING

---

# AAN GROTE HOOGTEN

Ook deze zomer zullen weer veel mensen de bergen opzoeken. Zij geven toe aan de aantrekkingskracht die ervan uitgaat. In de bergen moet men echter rekening houden met mogelijk optredend zuurstoftekort. Op grotere hoogten is de lucht immers veel ijler dan op het zeeniveau, waar we aan gewend zijn. Sommige mensen passen zich probleemloos aan de berglucht aan, anderen worden er gewoon ziek van. Hoe kan het organisme aan zuurstofgebrek het hoofd bieden?

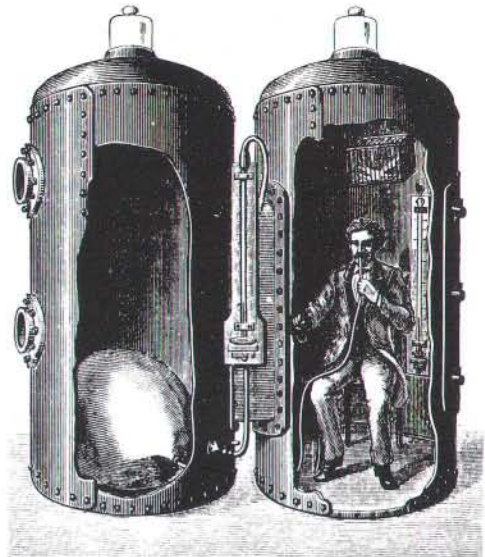
## Snakkend naar adem

Wie in de bergen vertoeft, zal merken dat de zuurstofdruk in de lucht snel vermindert met de hoogte. Op 3000 m is hij nog maar tweederde van die op zeeniveau, op 5000 m nog maar de helft en op de top van de Mount Everest (8848 m) slechts éénderde. Zeer lang heeft men gedacht dat het niet mogelijk was de top van deze berg te bereiken zonder zuurstofapparaat. In 1978 zijn twee alpinisten, Reinhold Messner en Peter Habeler, daar toch in geslaagd. De zuurstofdruk aan deze bovengrens van het aardoppervlak ligt ongetwijfeld zeer dicht bij het uiterste van wat een mens nog kan verdragen, maar er bestaan geen hogere toppen waarop alpinisten dit kunnen uitproberen.

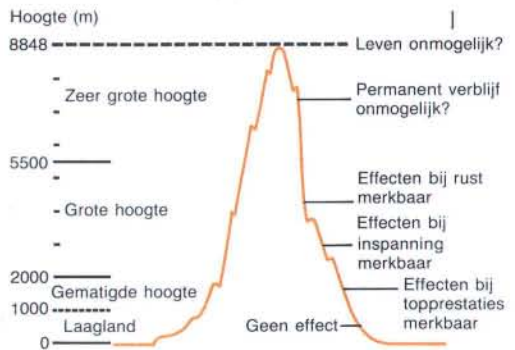
Op grote hoogte lijdt een levend wezen dus voortdurend aan zuurstoftekort; men noemt dat *hypoxie*. Toch maakt dit zuurstoftekort leven zeker niet onmogelijk. Er leven op de wereld meer dan 30 miljoen mensen permanent boven 2500 m in bergachtige streken of op hoogvlakten. Die zijn onderhevig aan een chronisch zuurstoftekort. Dan zijn er nog ruim 20 miljoen mensen die in lagere gebieden leven maar zich jaarlijks een tijd naar grotere hoogten begeven, voor hun plezier of om er te werken. Zij stellen zich bloot aan *acute hypoxie*. De meesten van hen gaan niet erg hoog. Met de aanleg van skipistes op meer dan 2000 m en kabelbanen die tot 3800 m reiken, wordt echter het gebied van de echt grote hoogte opengelegd voor mensen die slecht voorgelicht en/of getraind zijn, met alle gevolgen van dien.

De mens is dus in staat om te leven en in leven te blijven bij een zuurstoftekort in de hem omringende lucht, zelfs als dat tekort zeer groot is. Maar onder welke voorwaarden en tegen welke prijs? Dit zijn vragen die onderzoekers en artsen die met het hoogteprobleem te maken krijgen bezig houden. Want de effecten van grote hoogte op de mens kunnen ernstig en zelfs dodelijk zijn. Wanneer ze plotseling op 6000 m hoogte worden neergezet, verliezen de meeste mensen het bewustzijn. De eerste ballonvaarders aan het einde van de 19de eeuw hebben dat aan den lijve ondervonden. Daar staat tegenover dat als men ervoor zorgt geleidelijk, in enkele dagen, omhoog te gaan, het mogelijk is om zelfs op die hoogte een aanzienlijke krachtsinspanning te leveren.

In feite kunnen er twee dingen gebeuren als iemand die op zeeniveau leeft de grote hoogte



1



2

opzoekt. Hij kan op het zuurstofgebrek reageren met bepaalde aanpassingen waardoor hij lichamelijk en geestelijk, weliswaar op een verlaagd peil, kan functioneren zonder schade voor zijn gezondheid. Hij kan ook ongewenste reacties gaan vertonen, die men samenvat in een ziektebeeld dat *hoogteziekte* wordt genoemd. In sommige gevallen ontstaan ernstige complicaties die de dood veroorzaken als de patiënt niet snel naar beneden wordt gebracht. Kortom, een mens past zich goed of past zich slecht aan de hoogte.

Er dienen zich dus twee vragen aan: wat zijn de aanpassingsmechanismen die in werking treden bij een forse afname van de beschikbare





3

1. In de jaren zestig van de vorige eeuw was de Franse fysioloog Paul Bert de eerste die aantoonde dat de moeilijkheden die mensen op grote hoogte ondervinden, veroorzaakt worden door een verminderde zuurstofdruk. Men ziet hem hier afgebeeld in een decompressieklok. Door daarin de druk langzaam te verminderen, kon hij de reacties van het lichaam bestuderen. Hij constateerde ook dat de verschijnselen verdwenen door het inhaleren van met zuurstof verrijkte lucht uit de ballon in de linker klok.

2. Dit schema geeft een globaal overzicht van de effecten van de zuurstofdruk op verschillende hoogtes. Onder de 1000 m is geen effect merkbaar. Tussen de 1000 en 2500 m zullen vooral duursporters iets van de effecten merken. Tot 3000 m merken de meeste mensen alleen wat als zij zich inspannen; daarboven merkt men de effecten van plotselinge blootstelling ook al als men in rust is. Boven de 5000 à 5500 m lijkt een permanent verblijf voor een mens onmogelijk.

3. De eerste succesvolle beklimmers van de Mount Everest maakten op het laatste deel van de klim gebruik van zuurstofapparaten. Hier zien we twee leden van de expeditie ermee oefenen.

hoeveelheid zuurstof en welke factoren veroorzaken hoogteziekte? Bij een poging deze vragen te beantwoorden heeft men weinig aan proefdieren. De rat is veel beter en de hond veel slechter dan de mens bestand tegen grote hoogte. Bovendien is hoofdpijn, het voornaamste symptoom van hoogteziekte moeilijk vast te stellen bij dieren. De mens is dus het voornaamste proefdier. Wetenschappelijke expedities trokken de bergen in om meer inzicht te krijgen in de lange-termijnreacties van het organisme op de grote hoogte. Engelsen en Amerikanen gingen in 1960-1961 naar Nepal. Op 5791 m werd een proefstation ingericht. Drie personen voerden een uithoudingsproef

uit op een hometrainer, op 7440 m hoogte op de flank van de Makalu. Dit record is nog niet gebroken. Ondanks redelijk gunstige omstandigheden gingen hun geestelijke en lichamelijke prestaties achteruit.

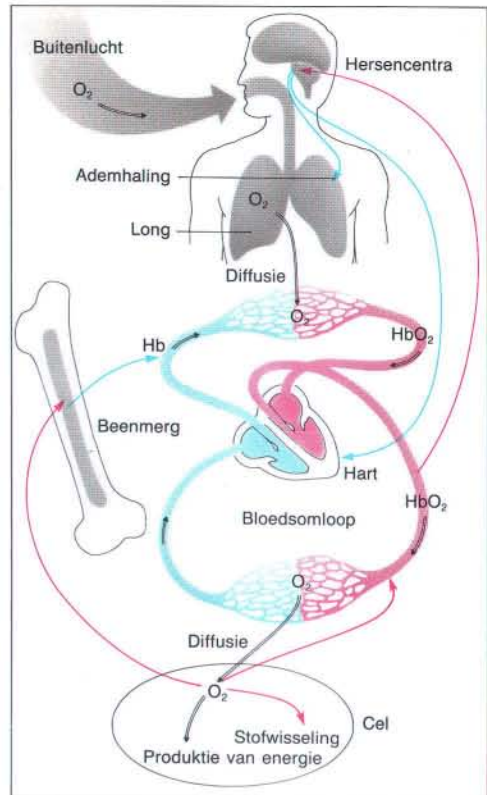
Andere groepen hebben experimenten in onderdrukcabines uitgevoerd. In twee Amerikaanse experimenten werd een beklimming van de Mount Everest nagebootst. Ons eigen team gebruikt bij zijn onderzoeken alle drie de proefmethoden: een vast proefstation op grote hoogte, expedities in het gebergte waar bij medisch onderzoek wordt gedaan en experimenten met in het laboratorium kunstmatig opgewekt zuurstoftekort.

### Regulerende reacties

Wat gebeurt er als iemand die op zeeniveau leeft naar grote hoogte gaat? Als zijn lichaam te maken krijgt met zuurstofgebrek treden er aanpassingsreacties op, waarbij een groot aantal functies betrokken is; vooral de ademhaling, het hart, het bloed, de nieren en het zenuwstelsel spelen een rol.

Om normaal te kunnen blijven functioneren, moet allereerst de zuurstoftoevoer toereikend zijn. Bij het inademen komt er lucht in de longen. Zuurstof uit de lucht diffundeert door de wand van de longblaasjes naar het bloed en wordt er gekoppeld aan het hemoglobine in de rode bloedlichaampjes. Dit zuurstofrijke bloed wordt naar de cellen van het lichaam getransporteerd, die de zuurstof gebruiken voor de verbranding en koolzuurgas afstaan. Dit komt op zijn beurt door diffusie in het bloed terecht en wordt uiteindelijk via de longen uitgedemd.

Als de hoeveelheid zuurstof op de top van de Mount Everest zoveel kleiner is dan op zeeniveau, hoe weet het lichaam dit tekort dan te compenseren en toch de cellen van voldoende zuurstof te voorzien? Daarvoor zit in het bloed een soort alarm ingebouwd, in de vorm van



4

4. Leven zonder zuurstof is onmogelijk en het lichaam heeft zo weinig voorraad dat het maar kort kan overleven als de ademhaling stopt. De ingeademde lucht komt in de longen terecht, waar de zuurstof via de longblaasjes naar het bloed diffundeert. Het wordt gebonden aan hemoglobine en in de vorm van  $\text{HbO}_2$  door het bloed naar de lichaamscellen getransporteerd. Op grote hoogte stimuleert de verlaagde zuurstofdruk centra in de hersenen, waardoor het ademhalings- en hartritme versneld worden. Er ontstaan ook plaatselijke reacties op de lage zuurstofdruk: haarvaten worden verwijd en de stofwisse-

ling schakelt over op processen die minder van zuurstof afhankelijk zijn. In de nieren wordt de afgifte van het hormoon erythropoietine gestimuleerd, waardoor in het beenmerg meer rode bloedlichaampjes worden gevormd. Het bloed kan dan meer zuurstof bevatten. Wordt bij inspanning een bepaalde zuurstofbehoefte overschreden, dan schiet de zuurstoftoevoer tekort. De oorzaken hiervan is een van de voornaamste punten waar het onderzoek zich op richt. De indruk bestaat dat afwijkingen in de diffusie van zuurstof door de longblaasjes hierbij een rol spelen.

chemoreceptoren, die snel reageren op veranderingen in de zuurstofconcentratie. Ze brengen informatie over naar de hersencentra die de ademhaling en het hartritme reguleren. Dat leidt tot een versnelling van de ademhaling, verbetering van de zuurstofopname en een verhoging van het hartritme om het transport naar de cellen te versnellen. Deze fase van de aanpassing duurt enkele uren tot twee à drie dagen. Er zijn tussen mensen echter grote individuele verschillen. Bij sommigen reageren de

chemoreceptoren nauwelijks op zuurstofgebrek. Zulke mensen kunnen zeer slecht tegen een verblijf op 4000 of zelfs 2500 m hoogte.

Na de eerste fase van aanpassing treden minder ingrijpende reacties op. Deze bestaan in wezen uit een verhoogde productie van rode bloedlichaampjes, waardoor de transportcapaciteit voor zuurstof van het bloed wordt verhoogd. In de nieren verhoogt zuurstoftekort de afgifte van het hormoon *erythropoietine* dat de vorming van rode bloedlichaampjes in





5

5. Het waarnemingsstation Vallot, op 4350 m hoogte op een helling van de Mont Blanc is een unieke plaats voor het onderzoek op grote hoogte. Jaarlijks brengt een dozijn vrijwilligers, meest artsen en studenten die ook bergsportliefhebber zijn, er een deel van de zomer door. Zij worden met alle benodigde apparatuur en andere voorraden per helikopter vanuit Chamonix naar Vallot gebracht. Daardoor worden perfecte condities geschapen om de gevolgen van acuut zuurstoftekort bij fitte mensen te bestuderen. Tekenen van hoogteziekte (hoofdpijn en misselijkheid) dienen zich al na zes uur aan en bereiken een hoogtepunt na 24 tot 72 uur.

het beenmerg stimuleert. Tegelijkertijd neemt het aantal mitochondriën in de lichaamscellen toe, zodat deze een groter deel van de beschikbare zuurstof kunnen verwerken. De celstofwisseling kan zich ook meer gaan richten op processen die minder afhankelijk zijn van zuurstof (anaëroob metabolisme). Deze aanpassingen, die ontstaan bij een inmiddels chronisch geworden zuurstoftekort, ontwikkelen zich na een periode van enkele dagen tot enkele maanden.

Voor een persoon in rust zijn deze aanpassingen tot op een hoogte van 5500 m meestal voldoende. Bij inspanning zijn zij echter niet voldoende om een zuurstoftoevoer als op zeeniveau te garanderen. De zuurstofconcentratie van het slagaderlijke bloed neemt bij inspanning op grote hoogte af en wel evenredig met de mate van inspanning en de hoogte. Als de zuurstofbehoefte een zekere grens overschrijdt, treedt er een verschijnsel op dat het zuurstoftransport naar de cellen beperkt: zelfs

als er nog voldoende zuurstof in de buitenlucht beschikbaar is, neemt de hoeveelheid in het bloed af. De oorzaak is waarschijnlijk dat de diffusie van de zuurstof door de longblaasjes naar het bloed dan minder makkelijk verloopt.

Uit ons eigen onderzoek krijgen we de indruk dat ook het hart gedeeltelijk verantwoordelijk is voor deze beperking van het zuurstoftransport. De maximale hartfrequentie ( $f$ ) die bij inspanning op zeeniveau wordt bereikt is uitsluitend afhankelijk van de leeftijd ( $a$ ), en wel volgens:  $f = 220 - a$ . Het blijkt nu dat op

grote hoogte (8000 m) de hartfrequentie van iemand van 30 jaar nooit hoger is dan 130 slagen per minuut (in plaats van 190). Wij denken dat dat komt doordat het hart geleidelijk minder gevoelig wordt voor zenuwprikkels die het aanzetten zijn ritme bij zuurstoftekort te versnellen. Dit mechanisme, dat een te sterke verhoging van de hartslag voorkomt, zou zodoende het hart en het lichaam als geheel beschermen tegen een te grote energieverstopping.

Bij sommige mensen verlopen de verschillende aanpassingsmechanismen harmonieus,

6. Afhankelijk van de tijd die op grote hoogte is doorgebracht, kan men drie verschillende fasen onderscheiden in de reactie van het lichaam op hypoxie. Acute blootstelling veroorzaakt direct een versnelling van de ademhaling en de hartslag. In deze aanpassingsfase staat het verzorgen van de zuurstoftoevoer naar de lichaamscellen voorop. Wordt de hypoxie vervolgens chronisch, dan reageert het lichaam door de transportcapaciteit van zuurstof in het bloed te vergroten en de afhankelijkheid van zuurstof in de cellen te verkleinen. Een volledig gestabiliseerde aanpassing wordt nooit bereikt, zelfs niet na vele jaren op grote hoogte. Volken die permanent op grote hoogte leven vertonen karakteristieke kenmerken. Sherpa's in de Himalaya hebben vermoedelijk, net als enkele dieren die op grote hoogte leven, erfelijk een speciaal soort hemoglobine. Bij de bewoners van de Andes is sprake van een aanpassing vanaf de geboorte, waardoor zeer jonge kinderen met minder zuurstof kunnen volstaan. Op latere leeftijd ontstaat bij deze mensen een vergroting van het oppervlak van de longblaasjes.

7



6





zodat er geen schade aan het lichaam ontstaat. Is dat niet het geval, dan treedt hoogteziekte op. In feite heeft iedereen daar boven de 3000 m in meerdere of mindere mate last van. Dat komt tot uiting in vage symptomen als hoofdpijn, misselijkheid, slapeloosheid, vermoeidheid en gebrek aan eetlust. Soms gaat men braken of raakt zo buiten adem dat men met alle activiteiten moet stoppen. Ook kunnen polsen, enkels en het gezicht opzwellen. Deze symptomen treden niet meteen op, maar met tussenpozen van vier tot acht uur, afhankelijk van de

de persoon. Ze verergeren gedurende de eerste twaalf tot zesendertig uur na aankomst op grote hoogte en verdwijnen daarna binnen drie tot vier dagen. Ze treden eerder op bij een snelle klim, bij zware inspanningen en bij vochtgebrek. Toch is de manier waarop mensen op hypoxie reageren zeer verschillend: sommige mensen hebben maandenlang last van hoofdpijn en anderen helemaal niet.

Onder bepaalde omstandigheden kan dit tot ernstige complicaties leiden die zelfs fataal kunnen zijn. Dan ontstaat een abnormale toevloed van water naar longen en hersenen waardoor daar oedemen optreden. Bijna 1% van de mensen uit laaggelegen streken vertoont bij een verblijf boven de 3300 m een ernstige vorm van oedeem. Bij alpinisten die expedities naar zeer grote hoogten ondernemen is dat percentage niet goed bekend, maar het zal ongetwijfeld veel hoger liggen. In de zomer van 1986 speelde zich op de K2 in Pakistan, met 8611 m de op één na hoogste top der wereld, een drama af waarbij twaalf deels zeer ervaren klimmers de dood vonden. Alle ongelukken hingen samen met de hoogte. Men bleef te lang op grote hoogte, deels gedwongen door slecht weer. De gangbare sufheid verergerde en leidde tot verdere fouten, zoals het kiezen van de verkeerde route en vallen, en tot de dood tijdens de slaap. Tijdens de Amerikaanse expeditie naar de Mount Everest in 1981 is aangetoond dat veranderingen in de hersenfuncties (trager geheugen, ongecoördineerd handelen) nog maanden na terugkeer van een verblijf op grote hoogte blijven bestaan.

Van oudsher is het plotselinge en heftige karakter van aandoeningen van de longen en het zenuwstelsel, ook bij kerngezonde en goed getrainde mensen onderkend. Op het moment houden verschillende onderzoeksteams zich met dit probleem bezig. De bedoeling is om erachter te komen welke mechanismen verantwoordelijk zijn voor het verschijnsel, de individuele risicofactoren te bepalen en uiteindelijk een therapie te vinden.

Hoogte-oedeem is waarschijnlijk het gevolg van verschillende processen, die uiteindelijk allemaal tot gevolg hebben dat er in de cellen zo'n groot zuurstoftekort ontstaat dat normaal functioneren niet meer mogelijk is. In grote lijnen bestaan er twee theorieën om deze verschijnselen te verklaren. Volgens de eerste theorie veroorzaakt zuurstoftekort een reflex-



7. Eén van de proefpersonen die meeging met de Franse expeditie naar de Annapurna IV verlaat het basiskamp om op grotere hoogte een proef op een hometrainer af te leggen. De hometrainer werd speciaal voor dit doel gebouwd door studenten van de École nationale supérieure de création industrielle. Ze gebruikten daarvoor zeer lichte materialen. De proefpersonen werden aan twee tests onderworpen. De eerste na vier dagen aanpassing aan de acute hypoxie, de tweede na ongeveer drie maanden op grote hoogte. Een complicatie bij deze serie metingen was dat de onderzoeker zelf ook van hoogteziekte te lijden kreeg.



matige samentrekking van bepaalde bloedvaten en dus een grote toename van de bloeddruk en/of het bloedvolume. Dit veroorzaakt een beschadiging van de membraan van de vaatwanden waardoor vocht uit de bloedvaten naar het weefsel van longen en hersenen stroomt. Die 'verdrinken' daardoor. Dit proces verhindert in de longen het transport van zuurstof naar het bloed. Er zijn echter verschillende redenen om aan deze theorie te twijfelen. Ten eerste reageert longoedeem door grote hoogte meestal niet op geneesmiddelen tegen dergelijke aandoeningen (diuretica). Ten tweede heeft men in zulke gevallen wel een verhoogde bloeddruk geconstateerd in de bloedvaten van de longen, maar niet in die van de hersenen, terwijl longoedeem en hersenoedeem toch vaak samengaan. Daar staat tegenover dat er een drukverhoging zou kunnen ontstaan in de hersenvloeistof. Zo'n drukverhoging zou verantwoordelijk kunnen zijn voor de vaak voorkomende hoofdpijn op grote hoogte en zou de bloedsomloop in de starre schedelpaan kunnen blokkeren waardoor het zuurstoftekort in de hersencellen zou verergeren.

De tweede theorie zoekt de oorzaak bij stoffen die in staat zijn de eigenschappen van het bloed zelf of van de vaatwanden te veranderen, zoals dat ook gebeurt bij oedeemverschijnselen van andere oorsprong (vergiftiging, virussen, allergieën). Die stoffen zouden vanuit de cellen die de binnenkant van de bloedvaten bekleden vrijkomen in het bloed of de ruimte rond de bloedvaten, als reactie op de 'aanval van zuurstoftekort'.

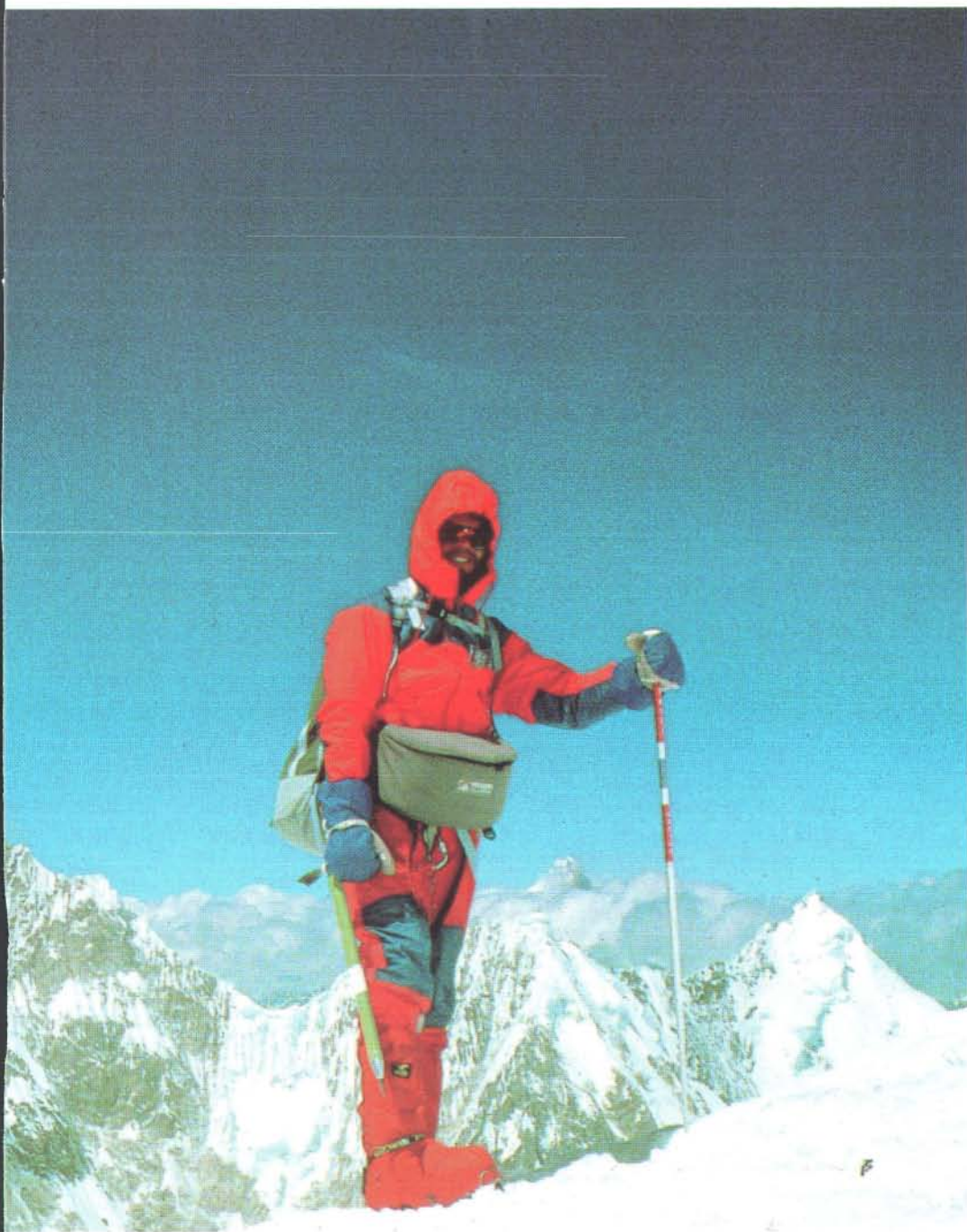
Uit de fosfolipiden van de membraan van die cellen wordt arachidonzuur gevormd. Dit wordt vervolgens omgezet in stoffen die allemaal invloed uitoefenen op de vaatwanden of op de stollingseigenschappen van het bloed, zoals prostaglandinen, leukotriënen en tromboxanen. Andere cellen in het bloed en de longen kunnen ook een stof uitscheiden die de diameter van de bloedvaten beïnvloedt: histamine. Van sommige van deze stoffen is het bekend dat zij de celmembraan van haarvaten aantasten: zij verhogen de doorlaatbaarheid ervan en kunnen er zelfs scheuren in veroorzaken. Daardoor ontstaat een verandering in het natrium- en kaliumevenwicht dat tussen de cellen en hun omgeving bestaat en van essentieel belang is voor vele processen in de cellen,



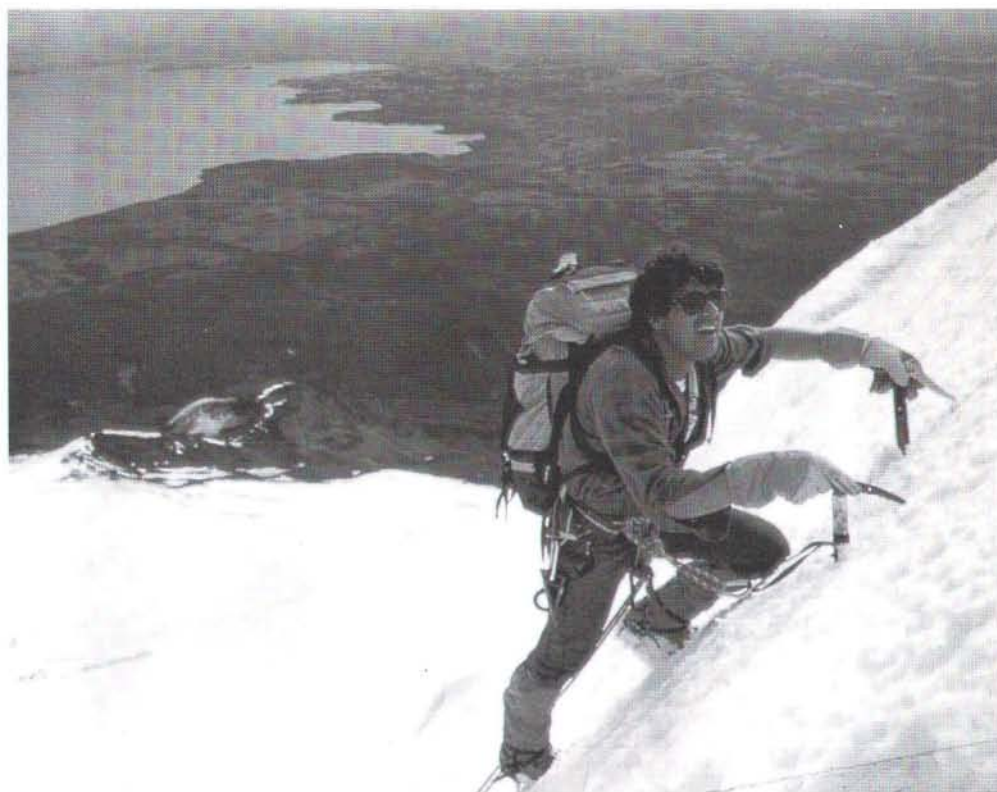
8

8. De ontberingen die door het zuurstofgebrek op grote hoogte worden geleden, worden ruimschoots vergoed door het gevoel van triomf dat de klimmer ervaart als de top bereikt is. De hier afgebeelde alpinist maakte deel uit





van de Gasherbrum II-expeditie. De Gasherbrum is een 8068 meter hoge berg die exact op de grens van Pakistan en de Volksrepubliek China ligt, niet ver van de K2, de op één na hoogste berg ter wereld.



9

vooral voor de overdracht van zenuwprikkels. Het ionentransport tussen binnen- en buitenkant van de celmembraan wordt verzorgd door een 'pomp' die als brandstof zuurstof nodig heeft. Als die pomp niet werkt, hoopt zich water op in de cel, die daardoor sterft. Tot op heden heeft men echter nog niet met zekerheid een verband kunnen aantonen tussen een van de betreffende stoffen en het ontstaan van long- of hersenoedeem. Enkele van deze stoffen zijn echter wel aangetoond in het vocht dat in de longen was terechtgekomen bij mensen met longoedeem.

### Verminderde urineproductie

Veel mensen die ziek worden van een verblijf op grote hoogte vertonen een verminderde urineproductie. Een slecht aangepast individu zou teveel vloeistof in zijn lichaam ophopen. De hieruit voortvloeiende toename van het bloedvolume zou dan mede verantwoordelijk

kunnen zijn voor het ontstaan van de overdruk in de schedelholte waardoor hersenoedeem kan ontstaan en voor overdruk in de longvaten met kans op longoedeem.

Bij het ingewikkelde proces van urine-uitscheiding spelen twee hormonale systemen een rol: het *renine-angiotensinesysteem* en het *antidiuretisch hormoon*. In het eerste systeem vormt een enzym het niet-actieve angiotensine I om in angiotensine II, dat de afscheiding van aldosteron bevordert. Daardoor worden water en natriumionen uit de nieren teruggeresorbeerd in het lichaam en vermindert de urineproductie. Bij mensen die aan hoogteziekte lijden zou dat enzym ongehinderd zijn gang kunnen gaan, wat een overmatig vasthouden van vocht en natriumionen in het lichaam verklaart. Bovendien is een verhoogde concentratie van het antidiuretisch hormoon aangetroffen bij mensen die slecht aangepast waren aan grote hoogte. Ook dit hormoon beperkt de urineproductie. Andere onderzoekers hebben dit

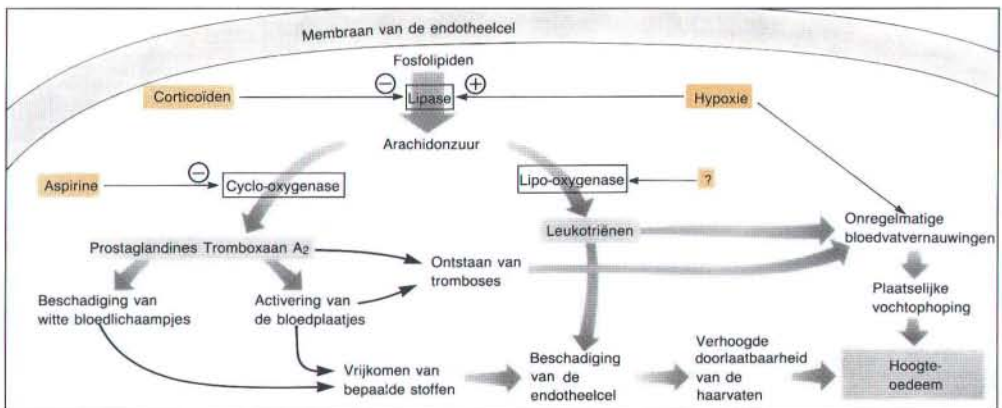


9. Op grote hoogte is iedere inspanning zwaarder dan op zeeniveau als gevolg van het zuurstoftekort. Dat is deze klimmer in de Chileense Andes goed aan te zien. Wie denkt dat hij nog niet erg hoog geklimmen is, moet bedenken dat het meer op de achtergrond op een hoogvlakte op ongeveer 3200 m ligt.

10. In dit schema is één van de mechanismen aangegeven, waarvan men veronderstelt dat die een rol spelen bij het ontstaan van hoogte-oedeem in hersenen en longen. Fosfolipiden uit de membranen van cellen die aan de binnkant van haarvaten liggen, worden onder invloed van zuurstoftekort omgezet in arachidonzuur. Dit vetzuur is de voorloper van een groot aantal stoffen die óf van invloed zijn op de stollingseigenschappen van het bloed óf op de

wanden van de bloedvaten. Als ze vrijkomen, veroorzaken ze plaatselijk een overdruk en een vergrote doorlaatbaarheid van de bloedvaten. De membranen van de bloedvaten scheuren en vocht uit het bloed hoopt zich op in de omringende weefsels. Onduidelijk is nog welke mechanismen precies wanneer optreden, zodat het moeilijk is om op basis van de huidige kennis een medicijn tegen hoogte-oedeem te ontwikkelen.

11. Het verblijf op grote hoogte leidt meestal ook tot slaapproornissen. Bovendien werken slaapmiddelen op grote hoogte anders dan op zeeniveau. Meer inzicht in de achtergronden hiervan wordt verkregen door bij proefpersonen tijdens de slaap op grote hoogte de hersenactiviteit te meten.



10

11



verschijnsel echter niet kunnen bevestigen. Het verband tussen een teveel aan vocht en hoogte-ziekte heeft geleid tot proeven met een diuretische stof, die het lichaam aanzet tot de productie van veel verdunde urine, acetazolamide. Gebleken is dat deze stof de symptomen onderdrukt. Het ziet ernaar uit dat het niet de diuretische werking is die de waargenomen effecten veroorzaakt, maar de invloed van de stof op de resorptie van de cerebrale vloeistof, met als uiteindelijk resultaat een afname van de druk in de schedelholte.

Acetazolamide schijnt nog andere regulerende effecten te hebben. In de beginfase van de aanpassing aan de hoogte veroorzaakt het tekort aan zuurstof een versnelling van de ademhaling, zoals we gezien hebben. Het  $\text{CO}_2$ -gehalte in het bloed neemt dan toe. Voor een deel wordt dit gebonden aan hemoglobine, de rest komt voor als bicarbonaten. Dat veroorzaakt een verhoging van de pH in het bloed, men noemt dit *alcalose*. (Volgens het



12

12. Een groep dragers helpt een expeditie in de Hindu Kush, een bergketen op de grens van India en Pakistan. De sherpa's in deze streek zijn vermoedelijk erfelijk aangepast aan het permanente verblijf op grote hoogte. Hun bloed kan de beschikbare zuurstof beter binden.

13. Een overzicht van het Franse kamp dat in 1985 op 4800 m hoogte op de flanken van de Annapurna IV in Nepal is ingericht. Twaalf proefpersonen onderwierpen zich daar aan allerlei experimenten, zoals die met de home-trainer en die van het slaaponderzoek.

13





evenwicht  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$  zou men een verlaging van de pH verwachten. De  $\text{H}^+$ -ionen worden echter gebonden aan het hemoglobine- $\text{CO}_2$  complex.) Deze wordt geregistreerd in het ademhalingscentrum in de hersenen. Om te voorkomen dat de pH te hoog oploopt, reageert het lichaam met een vertraging van de ademhaling. Het terugdringen van alcalose gaat geleidelijk (twee à drie dagen) doordat de nieren de overmaat aan bicarbonaten uitscheiden. Acetazolamide bevordert die uitscheiding, versnelt het terugdringen van de pH naar normale waarden en dus de 'aanpassing' van het betreffende individu.

### Erfelijk aangepast?

Naast de tijdelijke aanpassing aan de hoogte van mensen die op zeeniveau leven is er ook de blijvende aanpassing van hen die permanent op grote hoogte leven. Zijn die erfelijk aangepast aan het leven op grote hoogte?

Onderzoek bij dieren die op grote hoogte leven heeft hierover interessante gegevens opgeleverd. De lama, die in de Andes tussen 3000 en 5000 m leeft, en de Indische gans uit de Himalaya die bij zijn jaarlijkse trek op hoogten van meer dan 8000 m vliegt, trokken daarbij

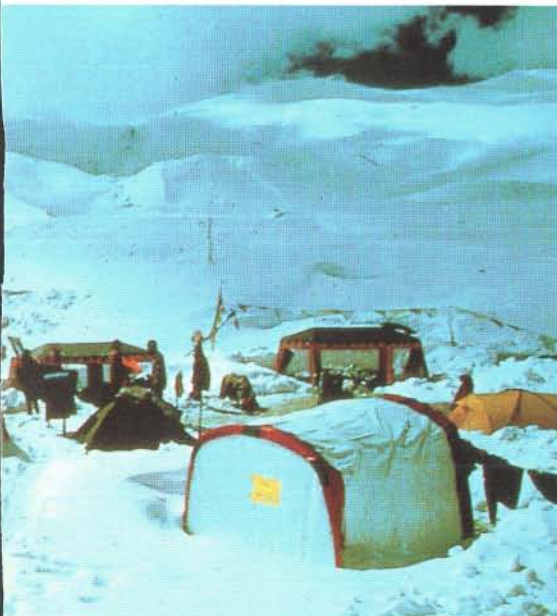
vooral de aandacht. Het is gebleken dat deze dieren een speciaal soort hemoglobine hebben, die zuurstof beter bindt en voor beter zuurstoftransport zorgt. Het kleine verschil tussen het hemoglobine van een 'laaglandgans' en een gans die aangepast is aan de hoogte, stelt de laatste in staat 20% te bezuinigen op de hoeveelheid bloed die het hart moet rondstuwen.

Erfelijke eigenschappen die speciaal gericht zijn op een betere aanpassing aan het leven op grote hoogte, zijn bij de mens niet met zekerheid aangetoond. Hoewel het wel vaststaat dat mensen die op grote hoogte wonen andere eigenschappen hebben dan die op zeeniveau, is niet eenduidig vastgesteld welke daarvan berusten op 'erfelijke verworvenheden' en welke verkregen zijn door 'natuurlijke aanpassing'. De sherpa's uit de Himalaya lijken een erfelijke aanpassing, te bezitten, want zij zijn in staat om zonder verhoging van de hemoglobineconcentratie een normaal zuurstoftransport in hun bloed te handhaven. Afwijkend hemoglobine is echter tot nog toe niet geconstateerd. De 'erfelijke' aanpassing aan de hoogte bij dit volk is merkbaar tot 4000 à 5000 m. Daarboven moeten zij zich aanpassen, net als mensen die op lagere hoogte leven.

Het is daarentegen zeer de vraag of de volkeren van de Andes over een echte erfelijke aanpassing beschikken. Hier is eerder sprake van een aanpassing sinds de geboorte. Een pasgeborene in de Andes behoudt bij zijn geboorte gedeeltelijk zijn foetale staat. Iedere menselijke foetus bevindt zich in de baarmoeder eigenlijk in een toestand van zuurstoftekort, die overeenkomt met de situatie op 7000 à 8000 m. Dat de foetus daarin kan groeien is grotendeels het gevolg van een grotere opnamecapaciteit van zijn hemoglobine voor zuurstof en van een verhoogde concentratie van de hemoglobine. Dit laatste lijkt bij een pasgeborene in de Andes gedeeltelijk behouden te blijven. Als zo'n kind ouder wordt, gaat het naar het schijnt nog meer eigenschappen ontwikkelen die zijn aanpassing aan hypoxie vergroten, zoals een vergroting van het oppervlak van de longblaasjes.

### Noodlottige gevolgen van de aanpassing

Hoewel er zich pathologische verschijnselen kunnen voordoen, is de grote hoogte een milieu waaraan de mens zich – als hij enkele





voorzorgsmaatregelen in acht neemt – duurzaam kan aanpassen. Door de complexiteit van de aanpassingsmechanismen (de regeling van de ademhaling en de bloedsomloop, de aanmaak van rode bloedlichaampjes enzovoorts) kan de mens binnen zekere grenzen het hoofd bieden aan zeer extreme omstandigheden. De aanpassingen zijn tijdelijk; zij verdwijnen als de oorzaken ervan worden opgeheven, anders gezegd als hij afdaalt naar lagere streken.

Sommige reacties kunnen echter op kortere of langere termijn noodlottig blijken voor het lichaam. Zo is een geleidelijke toename van het aantal rode bloedlichaampjes gunstig, omdat de transportcapaciteit van zuurstof in het bloed toeneemt. Als die toename echter te groot wordt, zal de bloedsomloop bemoeilijkt worden en gaat het gunstige effect verloren. Dat is soms de oorzaak van een zeer eigenaardige ziekte, die is beschreven bij bewoners van de Andes en later ook bij Tibetanen. Bij de ziekte wordt het bloed zeer visceus en er ontstaat een hoge bloeddruk, hetgeen leidt tot

hartinsufficiëntie en tot de dood. De regulerende mechanismen schieten hier als het ware hun doel voorbij: nadat ze het niveau van optimale werkzaamheid zijn gepasseerd worden ze een belasting voor het lichaam.

De bloedstolling lijkt bij zuurstoftekort op verschillende manieren verstoord te zijn, want op grote hoogte kunnen tegelijkertijd bloedingen en trombose (bloedstolsels) voorkomen. In feite moet men bij bloedingen van het netvlies, die boven 3500 m bij één op de drie mensen voorkomen, bedacht zijn op verstoppingen van de bloedvaten van longen en hersenen als gevolg van trombose. Tijdens onze expeditie naar de Annapurna IV (7525 m) in de Himalaya is de bloedstolling uitgebreid bestudeerd. De meeste stollingsfactoren (stoffen die de stolling bevorderen) lijken op grote hoogte actiever te zijn. Het samenklonteren van de bloedplaatjes, één van de eerste stappen van de stolling, gaat makkelijker. De wanden van de bloedvaten, geprikkeld door hypoxie of door 'stresshormonen' (adrenaline en noradrenaline), zouden stoffen afscheiden die zorgen voor

14. Een Indiaanse vrouw met haar baby op de rug hoedt een kudde lama's, ergens op de hoogvlakten van de Andes. De Andes bestaat uit twee bergketens met daartussen een hoogvlakte die op de meeste plaatsen hoger dan 3000 m ligt. Mens en dier dienen daar goed aan de hoogte te zijn aangepast. De lama's beschikken over een efficiënt type hemoglobine. Pasgeboren kinderen behouden nog enige tijd een aantal foetale eigenschappen, waardoor zij zijn aangepast aan een leven in een zuurstofarme omgeving. Bij volwassen mensen is het oppervlak van de longblaasjes vergroot, zodat de gaswisseling in de longen gemakkelijker kan verlopen.

14





een snellere vorming van een bloedstolsel. Dat zou daarentegen ook weer sneller afgebroken worden. Deze nog maar zeer weinig bestudeerde verschijnselen samen zouden dan of tot trombose of tot bloedingen leiden.

Wel staat vast dat leven op grote hoogte de kans op aderverkalking enorm verkleint. We hebben onlangs kunnen aantonen dat de concentratie van cholesterol in het bloedplasma op grote hoogte flink afneemt, vooral de cholesterol gebonden aan *low density lipoproteins* (LDL). Juist in deze vorm draagt cholesterol sterk bij aan aderverkalking. De versnelde afbraak van LDL die we hebben waargenomen bij mensen uit laaggelegen streken, maar ook bij mensen die in de bergen geboren zijn, lijkt het hooggebergte dus tot een 'gezonde' omgeving te maken, voor zover het het tegengaan van aderverkalking betreft.

De fysiologische veranderingen en de ziekteverschijnselen die samenhangen met een gebrek aan zuurstof zijn, zoals we in dit artikel gezien hebben, talrijk en gevarieerd. Hoewel de onderzoeken van de laatste jaren de ken-

nis van de hoogteziekte en het voorkómen daarvan zeer verrijkt hebben, blijven nog tal van vragen onbeantwoord. Onderzoek van gezonde mensen in een zuurstofarme omgeving, waarbij alle reguleringssystemen van het lichaam die afhankelijk zijn van zuurstof betrokken zijn, kan de nodige inzichten verschaffen.

In rust en in een 'normale' omgeving vertoont het lichaam weinig afwijkingen van de evenwichtstoestand waarbij fysiologische processen stabiel blijven. Om te kunnen begrijpen door welke regelmechanismen dit evenwicht in stand blijft, moet men het systeem prikkelen zodat het uit evenwicht raakt. Pas in een scherpe bocht kun je zien of een auto een goede wegligging heeft! Een opzettelijk veroorzaakt zuurstoftekort onthult de regelmechanismen die voorzien in het handhaven van de orgaanfuncties onder extreme omstandigheden. Ook kan dat interessante informatie verschaffen over de ontregeling van bepaalde mechanismen bij de zieke mens. Onderzoek op dit gebied is multidisciplinair en uitdagend.



Dit artikel verscheen eerder in het Franse blad *La Recherche* van december 1987. De redactie dankt drs Nina Weiss, arts, en Gerard van Sprang, alpinist, voor hun adviezen.

#### Literatuur

- Hackett PH. Mountain sickness; prevention, recognition and treatment, New York: AAC, 1980.  
 Heath D, Williams DR. Man at high altitude. Harlow: Churchill Livingstone, 1981.  
 Houston CS. Going higher - The story of man and altitude. Houston: Burlington, 1983.  
 Richalet JP (red.). Médecine de l'alpinisme. Parijs: Masson, 1984.  
 Rivolier J. et al. High-altitude deterioration. Medicine and Sport Science, vol. 19. Basel: Karger, 1985.

#### Bronvermelding illustraties

- H. Ayasse/Sygma, ABC-press, Amsterdam: pag. 562-563, 8, 9.  
 CNRS, Parijs: 1.  
 AP-foto, Amsterdam: 3.  
 Gerard van Sprang, Kekerdom: 12.  
 Peter Pennarts, Studio 3, Montfoort: 14.  
 Alle overige illustraties zijn van de auteur.



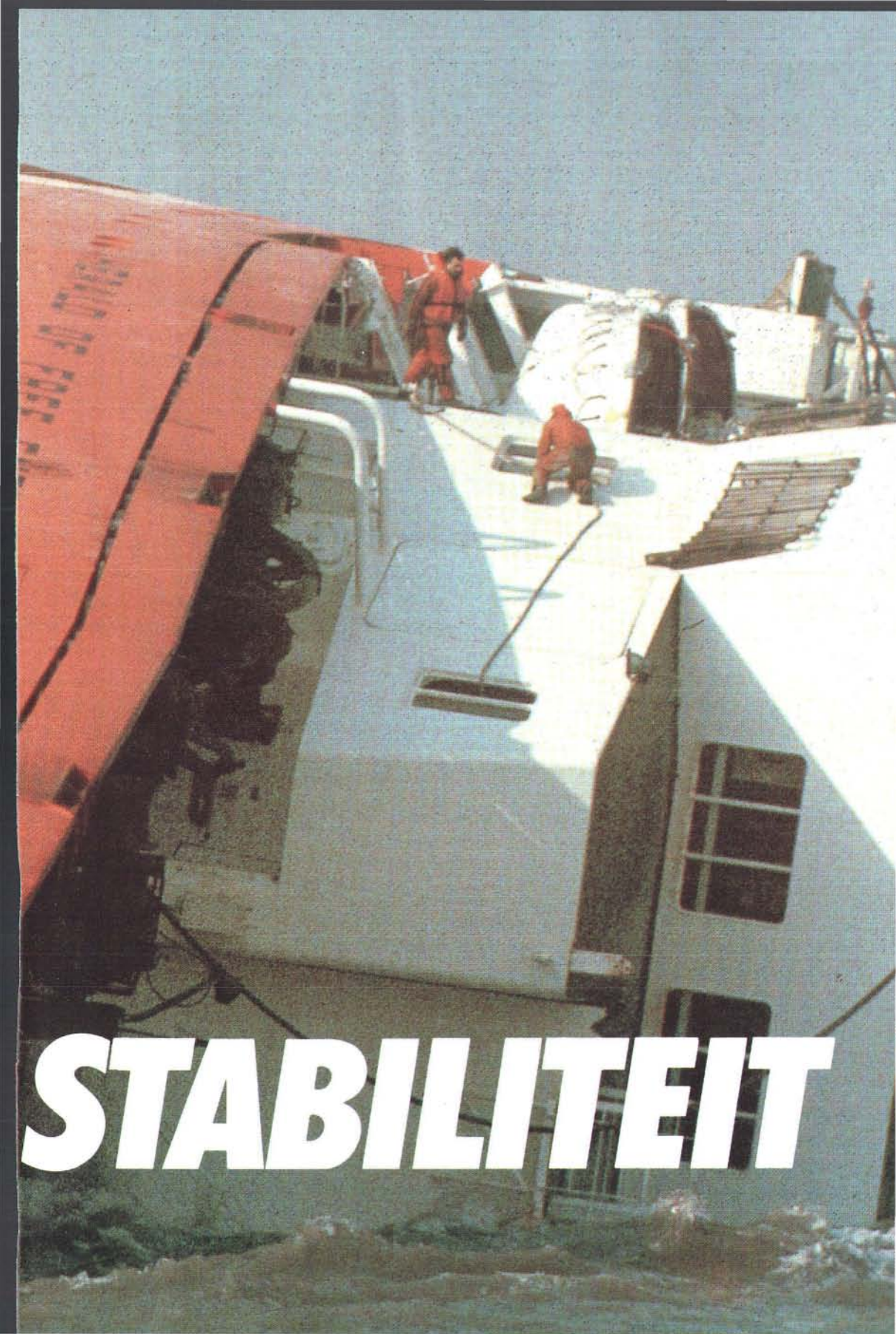


Bij twee grote scheepsrampen, de een op 26 augustus 1628, de ander op 6 maart 1987, kapseiden schepen bij het verlaten van de haven. Veel mensen verloren het leven. Beide ongelukken hadden in zekere zin dezelfde oorzaak. De ramp met de veerboot 'Herald of Free Enterprise' in 1987 herinnert iedereen zich nog. Ruim 350 jaar eerder, op een dag in 1628 gebeurde ongeveer hetzelfde. Het splinternieuwe Zweedse oorlogsschip de 'Wasa' voer weg van de afbouwkade. Na nog geen zeemijl te hebben afgelegd ging het, voor de ogen van vele, aanvankelijk trotse toeschouwers, met vlag en wimpel ten onder. Beide schepen waren instabiel. De 'Wasa' was verkeerd gebouwd; bij de 'Herald of Free Enterprise' overschreed de kapitein de voorwaarden waaronder het schip nog stabiel was. In dit artikel bekijken we beide rampen in enig detail en werpen licht op de moeilijke materie van de mechanica van de scheepsstabiliteit.

# SCHEEPS

J.D. van der Baan  
MARIN  
Wageningen





**STABILITEIT**



Hoeveel doden bij de ramp met de 'Wasa' te betreuren zijn geweest, is nooit bekend geworden. De bemanning bestond uit 137 zeelieden plus 300 soldaten. Het is echter niet bekend of die allemaal aan boord waren tijdens het ongeluk. De 'Wasa' is in 1961 gelicht. Bij het schoonmaken vonden de bergers achttien skeletten van mannen, vrouwen en kinderen. De aanwezigheid van een onbekend aantal vrouwen en kinderen is verklaarbaar omdat de bemanning toestemming had om familieleden mee te nemen, wanneer men in de thuiswateren bleef en geen oorlogsactie werd verwacht.

De ondergang van de 'Wasa' was een dramatische gebeurtenis, niet alleen vanwege het aantal doden, maar ook omdat het een prestige-project betrof, waarbij de Zweedse koning Gustaf II Adolf nauw betrokken was. Zweden verkeerde in een periode van expansie en had een sterke oorlogsvloot nodig. De koning was rechtstreeks betrokken bij de opbouw van zijn vloot en stelde persoonlijk de specificaties voor de bouwmeesters op. Ter meerdere eer en glorie van het koningshuis werd een aantal linesschepen gebouwd die groter en sneller moesten zijn dan de gangbare schepen. Men rekende ze daarom tot de categorie van de koninklijke schepen (*regalskeppet*). Ze waren getooid met namen als 'Riksäpplet', 'Kronan', 'Scepter', 'Tre Kronor' en 'Wasa'; alle ontleend aan elementen van de troon. Wasa was de familienaam van de toen heersende koninklijke familie. Uit de schaarse documenten over de bouw ontstaat het vermoeden dat in de 'Wasa' een aantal experimentele zaken zijn verwerkt.

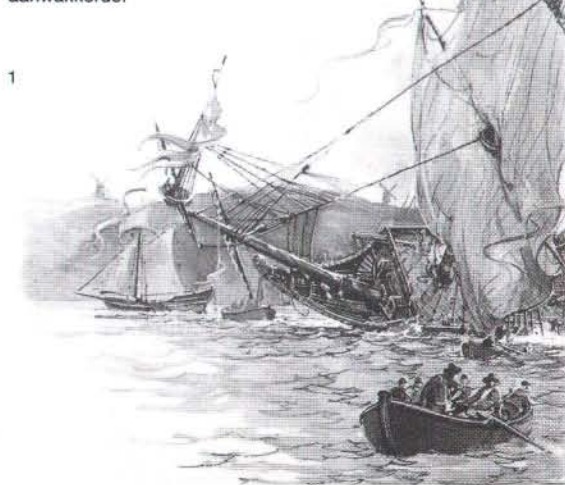
Het ongeluk veroorzaakte in Zweden een schok, die vergelijkbaar moet worden geacht met de schok die, eeuwen later, internationaal werd ervaren toen de onzinkbaar gewaande 'Titanic' op haar eerste reis verging.

Het wrak van de 'Wasa' werd in 1956 gelokaliseerd. Het verkeerde in een perfecte conditie en werd na 333 jaren onder water te hebben gelegen, in april 1961 gelicht. Het schip ligt nu in Stockholm in een eigen museum. Het conserveren, restaureren en het onderzoek naar scheepsbouw en gebruiksvoorwerpen is één van de boeiendste archeologische projecten van deze eeuw, dat echter nooit mogelijk zou zijn geweest indien men zich destijds voldoende rekenschap had gegeven van de gebrekkige stabiliteit, ofwel de weerstand tegen kenteren.

Bij het gerechtelijk onderzoek kort na de ramp werd duidelijk dat de 'Wasa' over onvoldoende stabiliteit beschikte. In de zeventiende eeuw bestond er echter nog geen wetenschappelijk inzicht in deze materie, laat staan dat er berekeningen werden uitgevoerd. Er werd dan ook niemand schuldig bevonden en veroordeeld.

Tijdens de bouw waren er reeds aanwijzingen dat er iets niet klopte. Bij de hellingproef bleek het schip niet stabiel te zijn. Het gerechtelijk onderzoek bracht ook een conflict boven water dat rechtstreeks verband hield met de stabiliteit. Zoals gebruikelijk in die tijd had de bootsman van het schip alle beschikbare ballastruimte met zware keien gevuld. Hij had nog meer ballast willen onderbrengen, omdat hij het schip te tuitelig vond. Vanwege de zeer zware bouw van het schip met extra spanten had hij echter ruimtegebrek en kon niet meer keien kwijt. De admiraal daarentegen, keek voornamelijk naar de hoogte boven water van de onderste rij geschutspoorten en vond dat er reeds teveel ballast aanwezig was. De hoogte boven water van het geschut is namelijk mede bepalend voor de draagwijdte. Daarnaast moesten bij slecht weer de onderste luiken eerder worden gesloten naarmate het schip dieper lag. Kennelijk wist men zich op korte termijn geen raad met de gerezen problemen. De 'Wa-

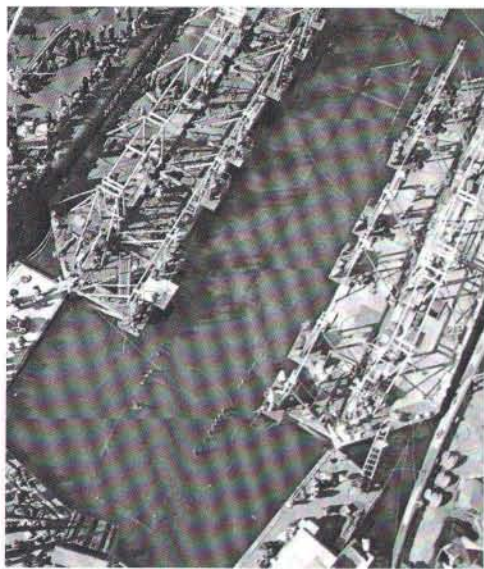
1. De 'Wasa' kenterde terwijl lang niet alle zeilen bijstonden en de wind slechts even aanwakkerde.





2 en 3. De 'Wasa' is in 1961 gelicht, na 333 jaar op de zeebodem te hebben gelegen. Het moment van boven water komen (2) was voor de Zweden een historisch ogenblik. Later is de gehavende romp, half drijvend en in takels hangend, binnen de haven van Stockholm ge-

transporteerd, daarna waarschijnlijk voorgoed op het droge getakeld en zorgvuldig geconserveerd. Het schip ligt nu in het eigen Wasamuseum in Stockholm, waar ook de talrijke gebruiksvoorwerpen die aan boord werden gevonden tentoongesteld zijn.



2



3



sa' was zeer gewenst in de oorlog tegen Polen en de admiraal vreesde de toorn des konings indien nog verdere vertraging met de oplevering zou ontstaan.

### Herald of Free Enterprise

Begin maart 1987 vond er nogmaals een gedenkwaardige scheepsramp plaats; ditmaal met de veerboot 'Herald of Free Enterprise'. Dit schip kapseisde even buiten de haven van Zeebrugge. Ook hier was sprake van een stabiliteitsprobleem. Toch lagen de zaken fundamenteel anders, nog afgezien van het feit dat het ene schip een zeventiende eeuws zeilschip en het ander een werktuiglijk voortbewogen schip uit de twintigste eeuw betrof. Het belangrijkste verschil is dat de veerboot reeds enige jaren in de vaart was. Het ontwerp voldeed aan de algemene voorschriften voor de categorie van *roll-on/roll-off* schepen. Het schip is in een serie van drie stuks op een Duitse werf gebouwd, die bovendien al ervaring met dit soort schepen had opgedaan. Tenslotte



was het ontwerp voor de bouw op modelschaal beproefd, waarbij een serie vragen over de prestaties werd beantwoord. Helaas was dit onderzoek niet volledig, zoals na de ramp zou blijken. Ondanks dit betere vertrekpunt kon er toch een calamiteit plaatsvinden die rechtstreeks vergelijkbaar is met wat er meer dan 350 jaren geleden in Zweden gebeurde. Hoe was het toch mogelijk dat nogmaals een volledig bemand zeeschip bij het verlaten van de haven kapseisde en ten onder ging?

Het antwoord op die vraag kon ditmaal via een uitgebreid onderzoek wel worden achterhaald. Uiteraard werd bij dit onderzoek meer gedaan dan alleen het horen van direct betrokkenen. Belangwekkend, natuurkundig onderzoek werd uitgevoerd door het Engelse scheepsonderzoekinstituut British Maritime Technology, dat een vergelijkbare functie heeft als het Maritiem Research Instituut Nederland te Wageningen. Opdrachtgeefster was het Department of Trade, dat verantwoordelijkheid draagt voor alle scheepsbewegingen binnen het Verenigd Koninkrijk en tevens waakt over de stabiliteit van alle schepen varende onder Engelse vlag. Het multidisciplinaire

onderzoek van het Britse instituut omvatte aanvullend modelonderzoek, onder andere op ondiep water; computersimulaties en een globale nabootsing van het vertrek van het rampschip uit de haven van Zeebrugge, uitgevoerd met het zusterschip 'Pride of Free Enterprise'.

De belangrijkste conclusies zijn:

1. Het schip was in de haven op een bijzondere wijze geballast om het laden van vooral de vrachtauto's te versnellen. Hierbij was de boeg omlaag getrimd. Alvorens zee te kiezen had deze afwijkende beladingstoestand gecorrigeerd moeten worden, hetgeen niet volledig was gebeurd.

2. Schepen die op ondiep water snelheid gaan maken graven zich dieper in, hetgeen met de vakterm *squat* wordt aangeduid. De golfpatronen worden daarbij forser dan bij eenzelfde snelheid op diep water. Modelproeven en computerberekeningen toonden aan dat het schip met zijn grote motorvermogen in staat was een hoge snelheid te behalen op relatief ondiep water. Bij een snelheid van 18 knoop veroorzaakte dit aan de boeg een squat-effect van één meter. Van het totale vrijboord van twee meter bleef daardoor slechts één meter over. Dit

4



5



4 en 5. De 'Herald of Free Enterprise' was in betere tijden een voorbeeld van een moderne en efficiënte roll-on/roll-off veerboot en een visitekaartje voor de eigenaar. Na de ramp met het schip (5) verdween de naam van de maatschappij van haar schepen. De 'Herald of Free Enterprise' wordt gesloopt.

6. Containerschepen behoren tot een vrij nieuwe categorie vaartuigen waarbij de specialisatie ver is doorgevoerd. Bij containerschepen is de constructie vooral gericht op het bevorderen van de snelheid bij het laden en lossen en op het vergroten van de vervoerscapaciteit. Deze schepen varen vaak met hoge deklasten, wat speciale eisen stelt aan de stabiliteit bij het ontwerp.

6





bleek nog maar een deel van het ondiep-water-effect te zijn. Als gevolg van de typische boegvorm van deze veerboot veranderde de normaal naar opzij weglappende boeggolf bij deze toegenomen diepgang en snelheid in een golf die tegen de boeg omhoogkroop. De kritische snelheid voor het ontstaan van de 'boegbreker' was ruimschoots overschreden.

3. Tenslotte, aan dat aspect is door de pers veel aandacht besteed, stonden de boegdeuren open. Normaal gesproken hoeft dit geen probleem te zijn. In combinatie met beide hierboven beschreven afwijkende omstandigheden bleek dit fataal.

Een conclusie van het onderzoek luidt dat het binnenstromende water aanleiding gaf tot het ontstaan van een initiële helling over bakboord. In deze nieuwe 'beladingstoestand', waarbij tevens het zwaartepunt was verschoven, werd het zelfoprichtend vermogen van het schip gereduceerd. De 'Herald of Free Enterprise' was daarna niet meer stabiel en kapseisde, hierbij een scherpe bocht over stuurboord (naar rechts) draaiend.

In vakkringen bestaat echter twijfel of met de uitkomst van het officiële onderzoek het ge-

hele verhaal is verteld. Alle factoren wezen namelijk ook op onvoldoende koersstabiliteit, wat ook tot rampzalige gevolgen kan leiden. Koersstabiliteit is de eigenschap dat het schip van nature een rechte koers wil varen. Door een bijzondere vorm kan een schip ook koersinstabiel zijn, waarbij steeds stuurcorrecties met de roeren moeten worden uitgevoerd om een rechte koers te kunnen varen. De controle over een dergelijk koersinstabiel schip kan verloren gaan wanneer boven een bepaalde snelheid het schip niet meer naar het roer of de roeren luistert. Men noemt dit de *controllability* van schepen, hetgeen iets anders is dan manoeuvreerbaarheid. Bij de 'Herald of Free Enterprise' werd de koersinstabiliteit bevorderd door de trim voorover en de relatief hoge snelheid op ondiep water. De roerganger rapporteerde kort voor het ongeluk dat het schip niet naar het roer luisterde. Een abrupte draai is dan met de roeren niet te corrigeren; voldoende dynamische stabiliteit zou de zaak dan moeten redden. Het verschijnsel is voldoende bekend, hoewel nog niet volledig in kaart gebracht. In de toekomst zal hier zeker verder onderzoek aan worden verricht.

### Hydrostatische stabiliteit

Twee gevallen waarbij stabiliteitsproblemen aan de orde waren zijn hier beschreven. Er kan worden gesteld dat in de tussenliggende 350 jaar veel is geleerd. In beide gevallen is er sprake van menselijk falen, hoewel op zeer verschillende hiërarchische niveaus. Bij de 'Wasa' had men meer aandacht moeten schenken aan het ongunstige resultaat van de uitgevoerde hellingproef. Op de 'Herald of Free Enterprise' had een strakkere bedrijfsdiscipline moeten bestaan.

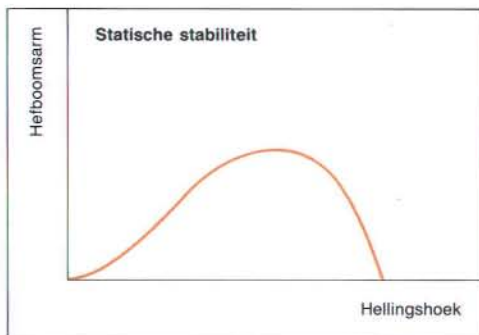
De materie van de hydrostatische stabiliteit van schepen is voldoende onderzocht, maar erg complex; er gebeuren toch nog regelmatig ongelukken. Enerzijds zijn er vaak scheepstypen bij betrokken waar weinig of geen ervaring mee was opgedaan, of waarvoor goede voorschriften ontbraken. Anderzijds bestaan er enkele categorieën schepen die kwetsbaar zijn, zoals roll-on/roll-off schepen, sleepboten (zie ook het klassieke boek *Hollands Glorie* van Jan de Hartog) en vissersschepen. Ook zeiljachten kunnen onder bepaalde omstandigheden in de problemen komen, getuige de ge-



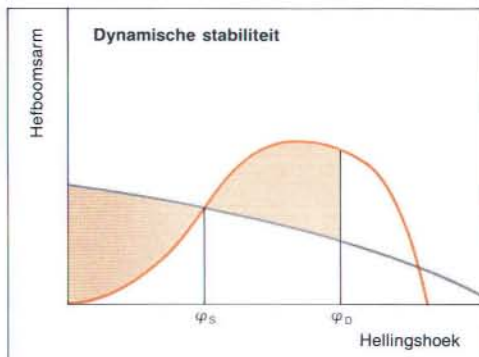
beurtenissen rondom de Fastnetrace van 1979. Het ziet er dan ook naar uit dat er nog heel wat maatschappelijke kritiek moet worden geleverd alvorens het scheepvaartbedrijf over dezelfde veiligheidsnormen als het luchtvaartbedrijf zal beschikken.

De laatste decennia zijn bijzondere scheepsvormen ontstaan als gevolg van een steeds verdergaande specialisatie in het verkeer. Deze afwijkende scheepstypen hebben hoge eisen gesteld aan de bekwaamheden van de ontwerpers, welke op hun beurt steeds vaker een beroep op de maritieme onderzoeksinstituten hebben moeten doen. Voor specifieke problemen zijn daartoe uitgebreide modelproeven en/of computersimulaties ontwikkeld. Voor het probleem van de stabiliteit ligt dit anders. Men kan er goed aan rekenen en gaat alleen dan tot modelproeven over wanneer afwijken-de constructies moeten worden beproefd.

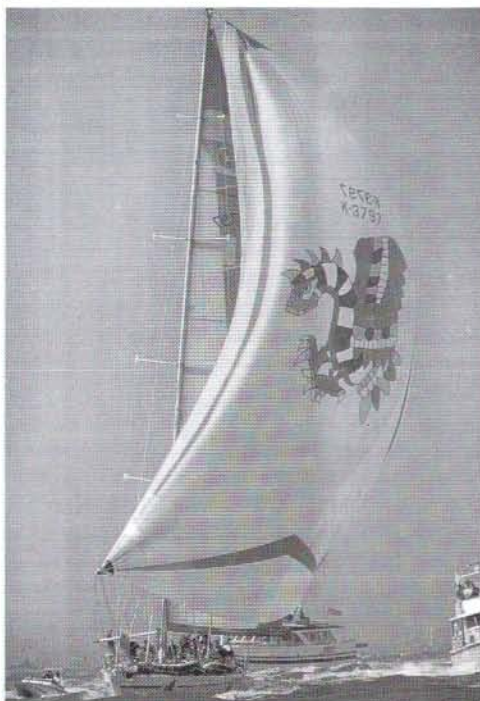
Met de stabiliteit van een schip bedoelt men de weerstand tegen omslaan of, met andere woorden, tegen kenteren of kapseizen. In theorie kan dit zowel geschieden om de langsscheepse als om de dwarsscheepse as. Het zal echter vrijwel altijd om de langsscheepse as



8



7



gaan (de X-as in afb. 10). Hierbij wordt dan gesproken van de *dwarsscheepse hydrostatische stabiliteit*.

Een schip dat vrij in het water ligt heeft voor zijn bewegingen de gebruikelijke zes vrijheidsgraden: drie rotaties en drie translaties om en langs de x-, y- en z-as. In de scheepsbouw gelden hiervoor benamingen die in afbeelding 10 staan. In het kader van een stabiliteitsbeschouwing interesseren ons vooral de variaties volgens coördinaat  $\varphi$ ; het slingeredrag.

#### *Inwendige- of systeemgebonden krachten*

Wij gaan uit van een schip dat zich in rust bevindt en beschrijven de statische krachten. Een drijvend schip is zover ingedompeld dat het gewicht van het verplaatste water gelijk is aan het gewicht van het schip; alles eenvoudig volgens de wet van Archimedes.

Het *drukingspunt* B is gedefinieerd als het zwaartepunt van het ingedompelde gedeelte van het schip, de *onderwatervorm*. De inhoud hiervan wordt aangeduid met de term *deplacement* (displacement) en internationaal met het

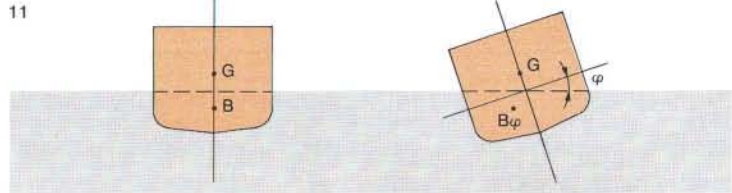
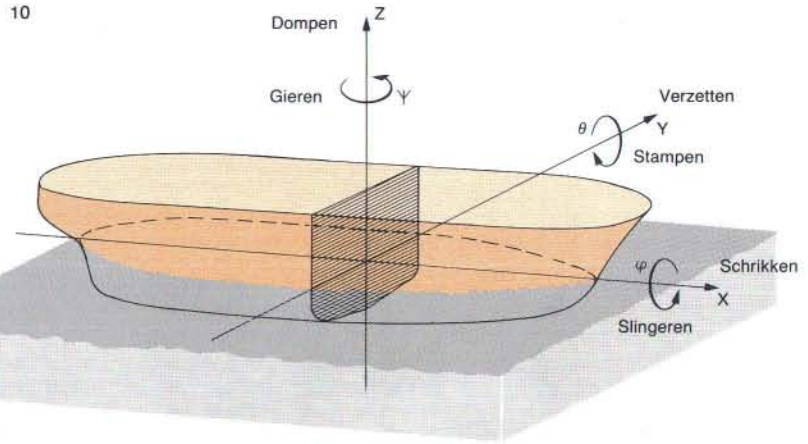


7. Zeiljachten zijn meestal uitgerust met een zware kiel, waardoor het zwaartepunt onder het drukingspunt kan komen te liggen.

8 en 9. Statische en dynamische stabiliteit. Het verband tussen de grootte van de hefboomsarm en de hellingshoek is voor ieder schip karakteristiek (8). De hellende hefboomsarm (grijs) in afb. 9 is de maat voor alle krachten die een schip uit balans brengen. De oprichtende hefboomsarm (kleur) richt het schip weer op. Het oppervlak tussen beide curven is een maat voor de arbeid die bij een snelle verstoring moet worden gecompenseerd.

10. Een schip heeft zes vrijheidsgraden van beweging, die in de scheepvaart eigen namen hebben.

11. Het drukingspunt (B) van een schip is afhankelijk van de hellingshoek. Het zwaartepunt (G) van het hele schip verplaatst zich niet. Bij een juist geconstrueerd schip ontstaat dan een oprichtend moment.



teken  $\nabla$ . De opwaartse kracht die hier volgens Archimedes rechtstreeks mee samenhangt wordt aangeduid met  $\gamma \nabla$ . Deze opwaartse kracht grijpt dus aan in B.

Het gewicht van het schip, voorgesteld door de kracht  $F$ , grijpt aan in het zwaartepunt  $G$  dat onafhankelijk is van de indompeling van het schip.

Het gewicht of de zwaartekracht  $F$  en de oprijvende kracht  $\gamma \nabla$  zijn gelijk en tegengesteld gericht wanneer het schip in rust is. Gewoonlijk zal bij een schip het zwaartepunt boven het drukingspunt liggen. Zo'n situatie lijkt instabiel, maar is meestal wel stabiel, wat makkelijk is in te zien als we het schip onderwerpen aan een hellingshoek  $\varphi$  (afb. 11). Dan krijgt het deplacement een andere vorm. Het drukingspunt verplaatst zich en de oprijvende kracht grijpt aan in het nieuwe drukingspunt  $B_\varphi$ ; het zwaartepunt  $G$  blijft evenwel op dezelfde plaats. Indien bij deze manoeuvre het drukingspunt zich over zo'n afstand verplaatst dat de zwaartekracht  $F$  en de oprijvende kracht  $\gamma \nabla$  een oprichtend (tegenwer-

kend) koppel gaan leveren, is het schip stabiel. We zeggen dan in dit geval dat het schip *vormstabiliteit* heeft. Het oprichtende koppel is een maat voor de stabiliteit, waarbij echter de hefboomsarm maatgevend is. Dikwijls beoordeelt men de stabiliteit van een schip uit de kromme die het verband geeft tussen de grootte van de hefboomsarmen van het oprichtend moment met de hellingshoek. In afbeelding II-1 is de afstand  $GZ$  de lengte van de hefboomsarm. Uitgezet tegen  $\varphi$  levert dit bijvoorbeeld een kromme als in afbeelding 8. Deze kromme, ook wel de  $GZ$ -curve genoemd, is voor ieder type schip verschillend. Er kan veel uit worden afgelezen. We zien aan de hier afgebeelde kromme bijvoorbeeld dat het oprichtend moment aanvankelijk met de hellingshoek toeneemt. Na een zekere uitwijking neemt het oprichtend vermogen echter af, ligt het schip eenmaal zo scheef, dan zal het enige moeite hebben weer rechtop te komen. Waar de kromme de horizontaal snijdt ligt de maximale hellingshoek: komt het schip nog schever te liggen, dan zal het onvermijdelijk kapseizen.

## Metacentrum en metacenterhoogte

Aangezien de bepaling van het drukingspunt bij een variabele hellingshoek niet eenvoudig is, heeft men een praktische uitweg gezocht en deze gevonden in de ligging van het zogenaamde *metacentrum*. Om het meteen weer ingewikkeld te maken zijn er zelfs drie metacentra gedefinieerd die bij het bepalen van de dwarsscheepse stabiliteit een rol spelen.

Het *aanvangsmetacentrum* M is het snijpunt van de werklijn van de oprijvende kracht voor het schip met minimale helling  $d\varphi$ , met de symmetrieas van het schip. De *metacenterhoogte* GM is nu de afstand tussen M en het zwaartepunt G. GM is van grote waarde om de aanvangsstabiliteit te beoordelen, maar uiteindelijk zegt de grootte van het stabiliteitskoppel meer over de totale stabiliteit.

Het *ware metacentrum*  $M\varphi$  is het snijpunt van de werklijn van de oprijvende kracht voor het schip met hellingshoek  $\varphi$  met die voor het schip met hellingshoek  $\varphi + d\varphi$ . Dit metacentrum, dat

buiten de symmetrie-as van het schip ligt, geeft de juiste positie van het metacentrum aan voor de grotere hellingshoeken. Het kent echter dezelfde beperkingen om mee te werken als het drukingspunt; het is moeilijk te bepalen; de reden waarom het in de praktijk niet wordt gebruikt.

Men werkt veel met het *schijnbare metacentrum* N, dat is het snijpunt van de werklijn van de oprijvende kracht voor het schip met grotere hellingshoek  $\varphi$ , met de symmetrie-as van het schip. De bepaling van N als het metacentrum voor grotere hellingshoeken is een benadering die in het algemeen tot aan de indompeling van het dek kan worden gehanteerd zonder belangrijke afwijkingen te introduceren;

De manier om GM (en ook GN) te bepalen volgt uit de bijgaande figuur:

$GM = BM + BK - KG$  voor kleine hoeken  
 $GN = BM(1 + \tan^2\varphi) + BK - KG$  voor grote hoeken en rechte zijwanden; waarbij KG uit een

Tot nu toe beschouwden we de krachten die bij iedere hellingshoek aangrijpen en we bekeken dus de statische stabiliteit. Het kan ook nuttig zijn de dynamische stabiliteit te beschouwen. Bij zeiljachten is het bijvoorbeeld belangrijk om te weten hoe ze reageren op plotselinge windvlagen. De dynamische stabiliteit wordt daarom gedefinieerd als de hoeveelheid arbeid die moet worden verricht om een schip vanuit de rechte stand tot een hoek  $\varphi$  te laten hellen. Ook deze waarden kunnen als een kromme afhankelijk van de hellingshoek worden uitgezet (afb. 9). Met de definitie arbeid = kracht x weg, maar ook arbeid = moment x hoek, wordt duidelijk dat de dynamische stabiliteit de integraal van de statische stabiliteit is.

Naast de vormstabiliteit van schepen, die tot nu toe uitsluitend aandacht kreeg, zijn er een aantal specifieke gevallen waarbij het drukingspunt B boven het zwaartepunt G ligt. Dit is meestal het geval bij duikboten, en bij zeiljachten die met een relatief zware kiel zijn uitgerust. Wanneer zo'n schip onder helling komt

12



12 en 13. Bij het MARIN in Wageningen analyseert men onder andere de stabiliteit van nieuwe roll-on/roll-off schepen. Na de ramp met de 'Herald of Free Enterprise' gingen MARIN-medewerkers weer met enkele modellen aan de slag, ook al vanwege de vragen van de kant van de publiciteitsmedia.



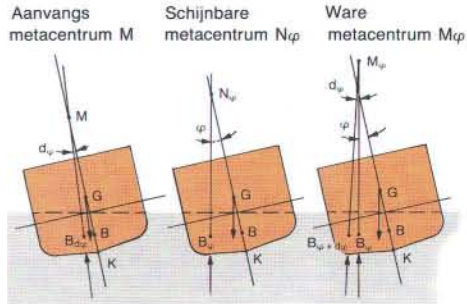
gewichtsberekening en BK en BM uit berekeningen van de onderwatervorm worden bepaald.

Indien wij vervolgens het statisch stabiliteitsmoment beschouwen dan blijkt dat wij de volgende opsplitsing kunnen maken:

$F \cdot GN \sin \varphi = F \cdot (BN + BK - GK) \sin \varphi$ ,  
waarbij

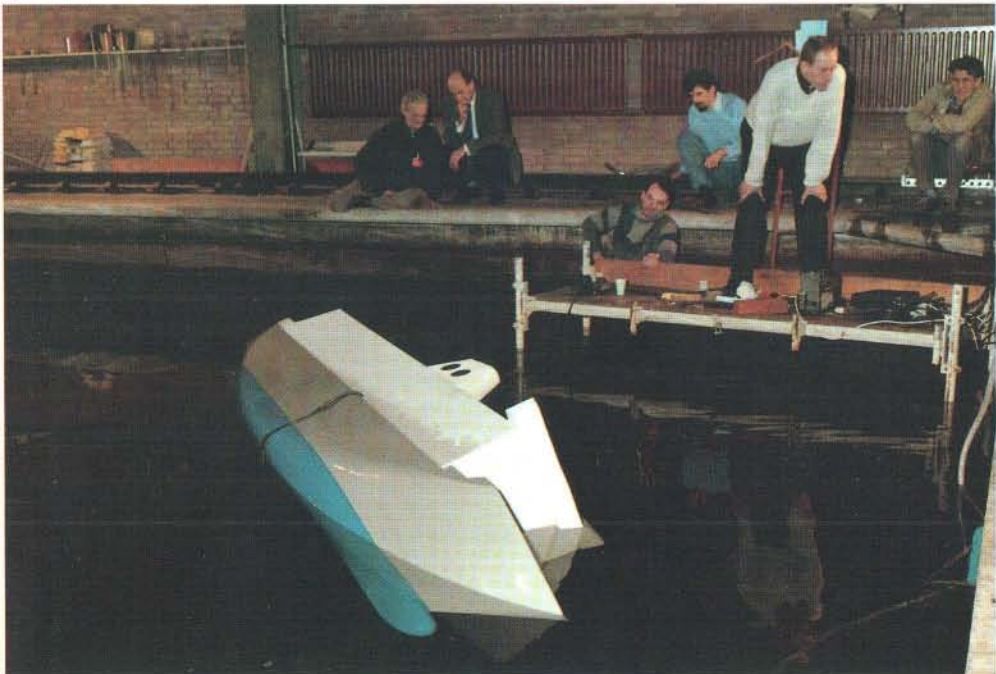
$F \cdot BN \sin \varphi$  de statische vormstabiliteit is en  
 $F \cdot GB \sin \varphi$  de statische gewichtsstabiliteit.

Het is gebleken dat bij de zeventiende eeuwse oorlogsschepen zoals de 'Wasa' de vormstabiliteit minimaal was, zodat men het steeds van de gewichtsstabiliteit moest hebben om de zaak overeind te kunnen houden. De schepen moesten dan ook steeds met zware keien onder in het schip worden geballast. Bijgevolg waren deze schepen erg gevoelig voor de ligging van het zwaartepunt G, zodat zelfs een kleine wijziging in de hoogteligging de stabiliteitskarakteristiek van het schip drastisch kon veranderen. Bij de 'Wasa' lag hij te hoog (zie Intermezzo II).



I-1. De drie metacentra naast elkaar getekend. Makkelijk is in te zien dat werken met het schijnbare metacentrum ( $N_\varphi$ ) het makkelijkst is: dit ligt steeds op de snijlijn van de lijn door kiel (K) en zwaartepunt (G) en de loodrechte uit het drukingspunt ( $B_\varphi$ ) met de horizon. Rekenen met het ware metacentrum ( $M_\varphi$ ) levert echter de nauwkeurigste resultaten.

13



is het niet noodzakelijk dat het drukkingspunt gelijktijdig dwarsscheeps mee verplaatst ten einde vormstabiliteit te creëren. Een dergelijk schip bezit *gewichtsstabiliteit*. Het kan niet kapseizen zolang de gewichten aan boord op hun plaats blijven en zolang de romp waterdicht is.

### Uitwendige krachten

In het voorgaande is een beschrijving gegeven van het hydrostatisch systeem dat ontstaat wanneer een schip uit zijn oorspronkelijke stand wordt gehaald. De belangrijkste krachten die dat kunnen doen zijn de winddruk; de centrifugaalkrachten als gevolg van draaien (sturen); het verschuiven van lading; het asymmetrisch overnemen van water (extreem: brekende zeeën of grondzeeën), soms verergerd door ijsvorming; de dwarsscheepse trossentrek bij sleepboten, de nettentrek bij vissersschepen en tenslotte het laden en lossen van zware lading.

Aangezien deze krachten het schip doen hellen, spreekt men van een *hellende kracht*, die een hellend moment tot gevolg heeft en een hellende hefboomsarm op zal leveren. Ook deze hefboomsarm is in het algemeen van de hellingshoek  $\varphi$  afhankelijk.

In een stabiliteitsbalans worden zowel de oprichtende als de hellende hefboomsarmen uitgezet, waarbij voor de hellende hefbooms-

14. Waar sleepboten in de buurt zijn willen de grenzen van de stabiliteit van schepen nog wel eens belangrijk worden. Dat geldt zowel voor de sleepboten zelf als voor de schepen die ze verplaatsen. Er treden als gevolg van sleepbootmanoeuvres snel krachten op die bij de stabiliteitsberekeningen niet overwogen zijn.



14

## Waarom de 'Wasa' verging

Het hellend moment afkomstig van de winddruk, aangrijpend in het zeilpunt (ZP) is

$$M_W = C_P \cdot 0,5 \cdot \rho_1 \cdot v^2 \cdot A \cdot h$$

Het oprichtend moment vanwege de statische stabiliteit is

$$M_S = g \cdot \rho_W \cdot V \cdot GZ$$

Indien de twee momenten met elkaar in evenwicht zijn, dus  $M_W = M_S$ , dan kunnen wij de hefboomsarmen van de statische stabiliteit berekenen als

$$GZ = \frac{C_P \cdot \rho_1 \cdot v^2 \cdot A \cdot h}{2 \cdot g \cdot \rho_W \cdot V}$$

KM kon voor de 'Wasa' uit berekeningen bepaald worden op 6,3 m. De afstand K-ZP is volgens opmetingen 26,25 m. Men neemt aan dat de dwarskracht op de romp aangrijpend in het lateraalpunt ligt op de halve diepgang, dus op 4,8:2 = 2,4 m onder de waterlijn.

Voor kleine hellingshoeken wordt de hefboomsarm  $h$  dan bepaald op 26,25 - 2,4 = 23,85 m en GZ kan worden berekend op

$$GZ = \frac{1 \cdot 1,27 \cdot 4^2 \cdot 601 \cdot 23,85}{2 \cdot 9,81 \cdot 1005 \cdot 1210} = 0,012 \text{ m}$$

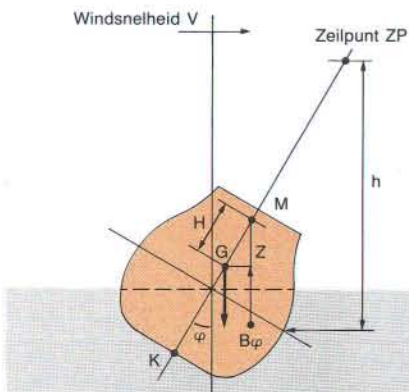
In het algemeen geldt als vuistregel dat bij een hellingshoek van 30° nog een minimale hefboomsarm van 0,20 m aanwezig moet zijn.





arm de som van alle externe invloeden moet worden bepaald. Zoals bij oprichtende hefboomsarmen zal ook hier onderscheid moeten worden gemaakt tussen statische en dynamische stabiliteit, tussen krachten en arbeid. Een statisch evenwicht stelt zich in wanneer het hellend en oprichtend moment even groot zijn; dus bij het bereiken van de statische hellingshoek  $\varphi_s$ . Een dynamische beschouwing gaat op wanneer het schip als gevolg van een stootbelasting uit balans wordt gebracht. Dit kan gebeuren door een windstoot, maar ook door plotseling fors roergeven of door vastlopen van de netten bij een vissersschip. Als gevolg van de opgenomen kinetische energie zal het schip over de statische hellingshoek heenschieten en pas weer in een evenwichtstoestand komen, wanneer deze energie is geabsorbeerd. Dit zal gebeurd zijn bij de dynamische hellingshoek  $\varphi_D$  (afb. 9).

De stabiliteitscurves zijn in hun onderlinge samenhang van grote waarde voor het beoordelen van de stabiliteit. Toch is nog steeds voorzichtigheid met de interpretatie geboden, aangezien er nog andere verstoringen zijn, zoals de altijd aanwezige deining en het feit dat de meeste schepen gedurende hun reis van gewicht, dus displacement, veranderen. De meeste schepen die brandstof en water verbruiken worden lichter, terwijl andere, zoals hopperzuigers en vissersschepen, tijdens de vaart lading innemen en zwaarder kunnen worden.



II-1

#### Literatuur

- Gerritsma J. Zeilen. Samenspel met water en wind. *Natuur en Techniek* 1980: 48, no. 6, pag. 404-423.  
 Baan J van der. Zeilschipontwerp. De Australia II. *Kiel geeft boot vleugels. Natuur en Techniek* 1984: 52; no. 3, pag. 170-193.

#### Bronvermelding illustraties

- Wasa museum, Stockholm: 1, 2, 3.  
 ABC-press, Amsterdam: pag. 578-579, 4, 5, 6, 7, 14.  
 MARIN, Wageningen: 12, 13.

**in de**



De miniatuur 'De stoet der Drie Koningen' verlicht een bladzijde uit het Getijdenboek van Engelbrecht van Nassau. De afbeelding is in werkelijkheid 148 x 80 mm en is geschilderd door de Meester van Maria van Bourgondië, ergens tussen 1477 en 1490. Het tafereel wordt als het ware gezien door een uitsnijing van een wand met nissen, waarin een glazen vaasje, een drinkbeker in glas en drie voorwerpen (een schotel, een vaas en een zalfpot) in beschilderde Spaanse majolica staan. Ze dateren alle uit die tijd. Op de linkerpagina staan soortgelijke voorwerpen die voorkomen in een ander miniatuur in hetzelfde boek. De vaas met de ringvormige oven kan een majolicaproduct uit Vlaanderen zijn.

**F. Verhaeghe**

Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek  
Brussel

# **PORSELEINKAST van de middeleeuwer**



Archeologie wordt vaak geassocieerd met scherven en inderdaad, archeologen hebben dikwijls te maken met, veelal gebroken, aardewerk. Het levert hen dateringen en gegevens over handelsbetrekkingen. Die schamele resten kunnen echter ook heel wat vertellen over andere facetten van het verleden: de cultuur, de productie- en concurrentieverhoudingen, het dagelijks leven, de techniek en zelfs over het sociaal gedrag. Dat komt bijvoorbeeld tot uiting in de 'hoogversierde' ceramiek, een bijzonder soort aardewerk dat het betere serviesgoed van de 13de en 14de eeuwse burger vormde. In de Lage Landen brachten vooral de Vlaamse pottenbakkers dit op de markt, maar ook elders in Europa werd het geproduceerd. Hoogversierd aardewerk leert ons het een en ander over de economische mechanismen die de pottenbakkersindustrie van toen beïnvloedden.





**D**eus. *ad festum*  
 in adiutori  
 um meum  
 intende. Domine ad  
 adiuuandum me  
 festina. **S** foris ut  
 tri **S** iate erat **S**





# Technologische vernieuwing in de 12de eeuw

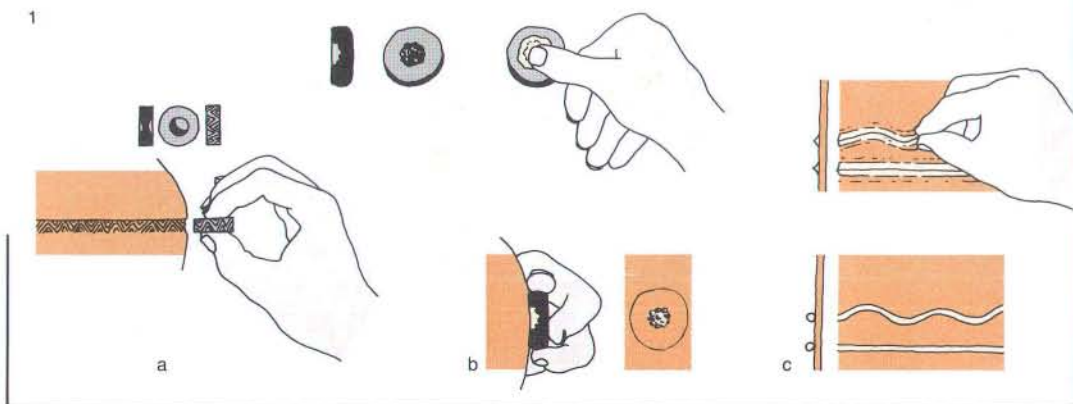
In de 11de en 12de eeuw was in Vlaanderen en Holland vooral grijze, ongeglazuurde ceramiek in gebruik, die was gebakken in een reducerende of zuurstofarme atmosfeer. Meestal waren de voorwerpen onversierd. Slechts zelden kwamen simpele rolstempeldecors of een vingerindrukversiering voor. Dit aardewerk werd voornamelijk als kookgerei gebruikt: schenk- en drinkgerei bestond hoofdzakelijk uit importwaren: beigewit, Andenne-aardewerk uit het Maasland (met wat gelig loodglazuur op de schouder) en beigewitte Rijnlandse ceramiek (met bruinrode beschildering).

Omstreeks 1200, of misschien wat vroeger, kwamen er belangrijke vernieuwingen op. De pottenbakkers begonnen de ceramiek te bakken in een oxyderende (zuurstofrijke) atmosfeer, wat de lokale ijzerhoudende klei oranje tot bruinrood kleurde. Zo'n bakwijze maakt het mogelijk de stukken geheel of gedeeltelijk met glanzend loodglazuur te bedekken. In die tijd vond men dan ook procédés uit om dit op economisch haalbare wijze te doen, door middel van de strooiselglazuur- en de glazuurpappetechniek. Verder ontdekten de pottenbakkers dat men doorzichtig glazuur kon kleuren, bijvoorbeeld door kopervijzel toe te voegen, wat groene tinten geeft, of door wit- of rozebakkende pijpaaarde, een fijne taaie kleisoort, als ondergrond te gebruiken. Nieuw is ook het bedekken van de objecten met een laagje witte pijpaaarde, door ze in een zowat vloeibare slibpapp te dompelen of door ze te bestrijken met zo'n papje. Die witte deklaag had een drievoudige functie: het glazuur kreeg er felle tinten

door, het kleurengamma werd uitgebreid en het aardewerk werd vergelijkbaar met de witgebakken Maaslandse en Franse importwaren. Het was dus niet alleen een versiering, maar vooral ook een element in de concurrentie tussen de pottenbakkerscentra.

De pottenbakkers konden nu spelen met kleureffecten: de roodbruine tinten van de gebakken klei zelf, het gele of groene glazuur en de witte, roze of zelfs (donker)groene tinten van de pijpaaarde. Dit nieuwe kleurenpalet werd gretig gebruikt, onder meer om diverse elementen van een complexe versiering verschillend te kleuren, bijvoorbeeld bij bloemen of heraldische afbeeldingen.

Al die innovaties maakten nieuwe producten mogelijk. Om deze voor de pottenbakker ook economisch interessant te maken, diende daarvoor een markt te bestaan. Vanaf de late 12de eeuw was deze voorwaarde vervuld: door de groei van de steden en van een handelaarsklasse ontstond een publiek dat interesse had in dit soort ceramiek. Bovendien verschenen nieuwe – met name Franse – importwaren. In belangrijke havens, zoals Brugge, hadden die wel enig succes en ze zetten de lokale pottenbakkers er toe aan om met behulp van de nieuwe technieken naar een gepast antwoord op deze nieuwe invloeden te zoeken. Het is zeker niet toevallig dat 13de-eeuwse Brugse pottenbakkers ook schenkkannen maakten waarvan de vorm niet inheems was, maar Franse voorbeelden nabootste. Die complexe interactie van allerlei technische, economische en sociale factoren verklaart het verschijnen en het relatief snelle succes van een nieuwe soort ceramiek: *hoogversierd aardewerk*.







2. Voorbeelden van hoogversierde Brugse schenkkannen uit de 13de eeuw. De linker kan is versierd met oplegwerk in witte pijpaaarde en mallenindrukken (Sint Jacobsschelpen en druiventrosjes). De rechter kan is een nabootsing van kannen die toentertijd, vermoedelijk uit Zuidwest-Frankrijk, werden geïmporteerd.

2

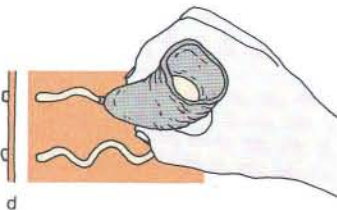
## Een rijke versiering

Hoogversierd betekent hier eigenlijk sterk en opvallend versierd. Het is de versiering die dit soort aardewerk een bijzonder karakter geeft en er een aparte groep van maakt. De versiering is altijd complex: ze bestaat uit diverse elementen waarbij verschillende technieken gecombineerd zijn. Bovendien valt op dat niet zozeer de vorm of functie van het object, als wel de versiering het eerst de aandacht trekt.

In de Lage Landen deden de Vlaamse pottenbakkers vanaf de vroege 13de eeuw een aantal oudere versieringsvormen herleven:

rolstempelornamenten, opgelegde reliëfbanden en gestempelde versieringen. In vergelijking met vroeger waren die echter verfijnder en met meer zorg aangebracht. Rolstempeldecors werden veel complexer en kregen andere vormen en motieven. Ze bedekten nu hele zones van het voorwerp, bijvoorbeeld de schouder van een kan, met wafelmotieven, visgraadpatronen, ineengewerkte ruitjes en zelfs lelies. Voor stempeldecors gebruikte men minitius uitgewerkte mallen. Schelpen en druiventrosjes waren zeer geliefd, maar men kent ook antropomorfe motieven, zoals gezichtsmaskertjes en zelfs staande figuurtjes. De opgelegde reliëfbandjes werden fijner en men gebruikte ze voor lijnpatronen of als aflijning van andere versieringen.

De reliëfbandjes horen bij het oplegwerk, dat na 1200 erg in de mode was. Hier vindt men zones en rijen schubben, gemaakt met aangedrukte bolletjes pijpaaarde. Verder kwamen 'fleurige' versieringen in oplegwerk in zwang: margrietachtige bloemen, met een kroon van bloemblaadjes in witte en een hart in donkere pijpaaarde;



1. Bij de in Haarlem en Vlaanderen gebruikte versieringstechnieken kende men de rolstempel (a), de mal (b) en oplegwerk met pijpaaarde (c en d). Rolletjes pijpaaarde, rattestaarten genaamd, streek men met de vingers op het aardewerk aan (c), wat aan die bandjes een driehoekige vorm gaf. Later kwam de 'ringeloor'-techniek in zwang, waarbij slibpap (sterk verdunde slibaarde) met een koehoorn met afgesneden punt werd aangebracht (d). De reliëfbandjes worden hierdoor licht afgerond.

roodbruine bloemen met sierlijk slingerende stengel; eenvoudiger dubbele of drievoudige bladmotieven en tenslotte ook rankendecors. De laatste verschenen al omstreeks 1200 in Noord-Frankrijk en horen tot het vroegste nieuwe oplegwerk.

Eveneens nieuw is het boetseerwerk dat soms gecombineerd werd met oplegwerk. Dat kwam vooral te pas bij zogenaamde gezichtskannen, waarbij op de rand en hals, tegenover het oor van de kan, een gezicht, meestal met baard, geboetseerd werd. Soms gaf men een menselijke gedaante aan een kan: een Haarlemse sierkan kreeg aldus de vorm van een vioolspeler. Boetseerwerk was natuurlijk ook erg geschikt voor speciale objecten, zoals nokbekroningen bij huizen.

Heraldische versieringen kent men eveneens, maar ze zijn zeldzamer. Meestal zijn het wapenschilden, die op enkele schenkkannen en ook wel op gevelbekroningen in de vorm van een ruitbeeld zijn aangetroffen. Interessant is dat specifieke heraldische motieven suggereren dat de betreffende voorwerpen soms op bijzondere bestelling gemaakt werden.

Dit korte overzicht laat zien dat de pottenbakkers heel wat meer en verschillende versieringen gebruikten dan voorheen. Maar tegelijk valt op dat ze zich ook beperkten. De technische vernieuwingen boden in feite veel meer mogelijkheden, maar toch bleven de pottenbakkers bij welbepaalde voorstellingen. Het blijkt dat ze hun modellen vooral ontleenden aan andere kunstvormen. Binnen de pottenbakkerswereld waren die decors dus wel nieuw, maar daarbuiten niet. Dit versterkt de indruk dat ze wel open stonden voor technische en economische vernieuwingen, maar op cultureel vlak eerder conservatief waren.



4

4. Fragmenten van schenkkannen met opgelegde bloemen met slingerende stengel, gevonden in het Laat-middeleeuwse vissersdorp te Raversijde, nabij Oostende (Collectie Cools-Mortier, Oostende).

### Een luxeservies voor de gegoede burger

Door de produktiewijze was de hoogversierde waar duurder dan het gewone gebruiks aardewerk. Het glazuur en het werk dat nodig was voor de versiering zijn slechts enkele bijkomende kostenfactoren. Brugse ovensvondsten tonen aan dat dit aardewerk meestal tweemaal gebakken werd: een eerste maal na afwerking van het decor (inclusief de witte deklaag) en

3

3. Misbakken kanfragment uit het 13de eeuwse produktiecentrum aan de Brugse Potterierei (Collectie De Meester, Brugge). De schouder van de kan is versierd met een complex rolstempeldecor en werd bekleed met een deklaag van witte pijpaaarde. Het stuk werd daarop een eerste maal gebakken, wat mislukte. Er volgde dan ook geen tweede bakking om het geheel te glazuren.







een tweede maal om het voorwerp te glazuren. Twee keer bakken betekende natuurlijk een kostenstijging in termen van brandstof en tijd.

Ook uit de aard van de produkten blijkt dat van luxe aardewerk sprake is. De belangrijkste vorm is de schenkan, geschikt voor rijke tafelgelegenheden. Meer dan 90% van de hoogversierde waar hoort tot deze categorie. Afhankelijk van het type zijn ze 17 tot 35 cm hoog en men kan diverse typen onderscheiden: bijvoorbeeld peervormige kannen, slanke kannen met een S-vormig profiel en kannen met geknikte wand. Onduidelijk is in hoeverre op grond hiervan een datering of de herkomst aan te duiden is. Naast de talrijke kannen komen ook enkele zoutvaten, vetvangers, stolpen en borden voor. Verder zijn er nog de vrij zeldzame wasbekkens en vooral ook de nok- of gevelbekroningen, die op de nok boven de straatgevel geplaatst werden. Daarvan zijn er diverse typen: bollen, pinakels, torentjes, dierenbeelden (vooral vogels maar ook paarden en zelfs draken), bisschopsbeelden en vooral ook geharnaste ridders te paard.

Het luxekarakter van deze ceramiek is duidelijk: ze omvat vooral het betere tafelgoed voor welgestelde burgers. De andere voorwerpen hoorden eveneens in betere huishoudens, bijvoorbeeld de wasbekkens, of dienden om de welstand en status van de bezitter te beklemtonen en zelfs te afficheren, zoals de gevelbekroningen.

De sociale spreiding van de vondsten bevestigt dit. In *gebruikerscontexten* – dat wil zeggen archeologische vondstcomplexen die niet de productie maar het gebruik van de voorwerpen weerspiegelen – treft men dit aardewerk vooral aan in betere buurten. Daarbuiten blijven de vondsten meestal beperkt tot één of twee voorwerpen, die daardoor de indruk van sierstukken wekken. Sommige gebruikerscontexten leverden zelfs voorbeelden van misbakfels en niet meer bruikbare kannen: het gaat hierbij als het ware om schoorsteenstukken en niet meer om gewoon goed voor het dagelijks gebruik.

#### Markt- en productie-ontwikkeling

In Vlaanderen en in Noord-Frankrijk verschenen de eerste kannen met rankendecor omstreeks 1200. Wanneer de andere versieringstypen opkwamen en hoelang ze vervolgens in de mode bleven, is nog niet bekend: net zoals voor de evolutie van de kanvormen zijn er nog niet genoeg dateringsgegevens. In het oude graafschap Vlaanderen werd dit type ceramiek, veelal met witte deklaag, gedurende de gehele 13de eeuw tot vroeg in de 14de eeuw geproduceerd.

Hoewel uit Nederland (Dordrecht) wel enkele vroege geïmporteerde kannen bekend zijn, lijkt de productie hier pas later – misschien pas omstreeks 1250 – te starten. Ze nam er trouwens nooit een hoge vlucht en de aanmaak ervan lijkt beperkt tot het werk van geïmmigreerde Vlaamse pottenbakkers of tot enkele imitaties van Vlaamse of Brabantse produkten. Ook in het oude hertogdom Brabant lijkt de productie van dit aardewerk pas rond 1250 te starten.

In de vroege 14de eeuw verloor de hoogversierde ceramiek geleidelijk haar aantrekkingskracht. De verklaring hiervoor is te zoeken in het succes van een nieuw produkt, het geïmporteerde steengoed, gekenmerkt door een zeer hard compact baksel, dat zeer glad was.



Het kwam vooral uit Rijnlandse productiecentra, waarvan Siegburg met zijn beigewit steengoed toen de belangrijkste was. Het omvatte schenk- en drinkgerei waarvan de hoge kwaliteit en de nieuwigheid de burgerij bekoorde. Het steengoed hoorde in dezelfde gebruikssfeer thuis als het meeste hoogversierde aardewerk, dat nu vervangen en van de markt verdrongen werd.

Op objecten als nokbekroningen en borden had deze concurrentie geen invloed. Om technische en economische redenen werden deze voorwerpen immers niet van steengoed gemaakt: de zeer hoge oventemperatuur die nodig was voor het maken van steengoed zorgde voor grote interne spanningen in dergelijk baksel. Er ontstonden daardoor veel misbakfels. Bovendien leverden deze voorwerpen wellicht ook grote problemen bij massaal transport. In de late 14de en 15de eeuw werden ze dan ook nog steeds gemaakt door onze pottenbakkers, die zo toch nog een deel van de markt voor de luxe ceramiek behielden. De sierborden en -schotels kwamen toen nog op een andere manier van pas, omdat een andere nieuwe importwaar, de rijke majolicaschotels uit het Middellandse-Zeegebied, er enigszins mee kon worden beconcurrereerd.

Technisch gesproken voltrok zich vanaf 1325 à 1350 een merkwaardige evolutie. Samen met de hoogversierde schenkan verdwenen de stempeldecors, terwijl het oplegwerk totaal van aard veranderde. Die versiering werd nu aangewend voor gewoner gebruiksgoed, zoals waterkannen en ander keukengerei. Met een koehoorn bracht men snel en soms nogal slordig enkele sliblijntjes aan en de stukken werden ook maar éénmaal gebakken. Wat vroeger voorbehouden was aan duurdere producten werd nu als het ware gepopulari-



6. Misbaksel uit Haarlem (circa 1300). De nog ongeglazuurde schenkan is versierd met complexe mallenindrukken die een dame met liele voorstellen.



7

5



5. De hals van een schonkan met opgelegd rankendecor in witte pijaarde, gevonden in het pottenbakkerscentrum aan de Potterierei in Brugge (Collectie De Meester, Brugge).

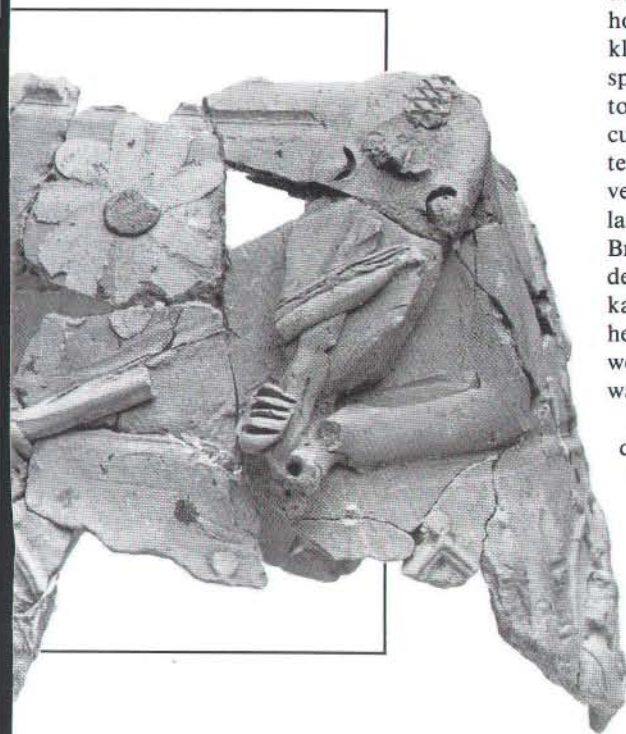
seerd: er trad een verschuiving op van de rijke tafel naar de keuken, die gepaard ging met een vereenvoudiging op artistiek en technisch vlak. Deze voorwerpen waren dus ook goedkoper. De sierborden en nokbekroningen staan ook hier weer buiten. In de 15de eeuw kwamen er weer meer verzorgde (maar eenvoudige) sliblijndecors op het tafelgerei, maar het complexe opgelegde slibdecor herleefde pas met de laat-16de eeuwse papkommetjes.



## De producenten

Ovenvondsten tonen dat het dezelfde pottenbakkers waren die – met dezelfde ovens en grondstoffen – zowel het hoogversierde als het gewone gebruiks aardewerk produceerden. Belangrijk is ook dat het pottenbakkersam-

7. Misbaksel uit Haarlem (circa 1300). De buik van de nog ongeglazuurde schenkan is versierd met mallenindrukken die een vioolspeeler voorstellen. Boetseerwerk werd gebruikt om de schouder van de kan om te vormen tot de violist. Op de verdwenen hals stond ongetwijfeld een gezichtsmasker.



bacht toen in Vlaanderen (en ook wel in Nederland) vooral in of bij de steden werd uitgeoefend. Hier waren immers de meest geschikte afzetmarkten, niet alleen voor luxe waren, maar ook voor het gewonere gebruiksgoed. Hoogversierde ceramiek werd geproduceerd in onder meer Brugge, Kortrijk, Breda, Haarlem en ook in Mechelen. In de eerste vier steden blijkt dit uit vondsten van ovenresten en misbaksels, niet meer verkoopbare produkten. De

kenmerken van de hoogversierde waar die werd gevonden in Antwerpen en 's-Hertogenbosch suggereren dat ook daar werd geproduceerd. Andere tastbare gegevens hebben we momenteel nog niet, maar de band tussen de laat-middeleeuwse pottenbakkers en de stad laat vermoeden dat deze ceramiek ook in andere Vlaamse steden, zoals Gent en Ieper en in Zeeuws-Vlaanderen gemaakt werd.

Voor Holland liggen de zaken wat anders. Eigenlijk kennen we alleen een produktiecentrum in Haarlem, maar de vondsten die hier gedaan zijn vallen wat buiten het normale vormgamma van die stad; men vermoedt dan ook dat de Haarlemse pottenbakker in feite een Vlaamse immigrant was. In Leiden en elders leverden de ovens uit die tijd wel enkele hoogversierde stukken, maar hun aantal is zo klein dat men niet van een echte produktie kan spreken: het zijn eerder probeersels die verder tot niets leidden. Mogelijk verhinderde de concurrentie van Vlaamse en Brabantse produkten hier de opbloei van een lokale industrie. De verspreiding van hoogversierd goed in Nederland spreekt dit trouwens niet tegen: naast Brabant en Zeeland vindt men het vooral langs de kust, wat op import en handel via kustvaart kan wijzen. De algemene indruk is dan ook dat het in Holland gevonden hoogversierde aardewerk in de eerste plaats een Vlaams produkt was.

De stortplaatsen van misbaksels tonen dat deze ceramiek slechts een fractie van de totale produktie vertegenwoordigde. In Brugge vormde de hoogversierde ceramiek slechts 5 tot 8% van het totaal geproduceerde aardewerk. Ook elders lijken de percentages laag. Het gaat dus eerder om een nevenprodukt, wat echter niet betekent dat dit geen economisch belang had. De ongetwijfeld hogere prijs, het luxe karakter, de export en het feit dat sommige objecten wellicht op bestelling gemaakt werden, wijzen eerder op het tegendeel.

## De afzetmarkten

Via de stedelijke markt vond de hoogversierde ceramiek ook haar weg naar het omliggende platteland en naar verder afgelegen gebieden. Brugse kannen duiken bijvoorbeeld op in Engelse en Schotse (haven)steden, in Denemarken en in de Noorse Hanzestad Bergen. In De-

## Ceramiksoorten

Van de 11de tot de 15de eeuw kent men in de Nederlanden enkele belangrijke ceramiegroepen: de grijze ceramiek, de witbakkende ceramiek, de rode of roodbruine ceramiek, het steengoed en de majolica. Elke groep heeft kenmerken, die in hoofdzaak voortvloeien uit de produktietechnieken en uit de aard van de grondstoffen. Verder zijn er nog enkele subgroepen zoals het hoogversierd aardewerk, de Andenneceramiek of de Pingsdorfceramiek, die wel tot één van de hoofdgroepen behoren, maar er omwille van bijzondere kenmerken (baksel of versiering) van onderscheiden worden. Soms danken ze hun naam aan het bekendste productiecentrum, zoals Andenne in het Belgische Maasland of Pingsdorf in het Rijnland.

*Grijze ceramiek* wordt ook wel reducerend gebakken ceramiek genoemd en is gemaakt van ijzerhoudende klei die in een reducerende of zuurstofarme atmosfeer gebakken werd. Tijdens

het bakken wordt de luchttoevoer in de bakruimte van de oven afgesneden, wat twee gevolgen heeft: de hitte onttrekt zuurstof aan de ijzeroxyden in de klei die daardoor wordt gereduceerd tot magnetiet, dat grijs tot zwart gekleurd is; bovendien komt ook rook van het vuur in de bakruimte terecht en zet koolstof af op en in de klei. Vandaar het grijze baksel. Soms gebruikte de pottenbakker doelbewust nat hout op het einde van de bakking; zo ontstond een dikke rook die op de potten neersloeg en de minuscule poriën in het baksel dichtte. Dit wordt meestal smoren genoemd. Grijze ceramiek wordt ge-



8. Gezichtskan met op de hals en rand een gezichtsmasker, waarvan de oren, wenkbrauwen, neus en baard beklemtoond zijn met witte pijpen. Deze Mechelse vondst (Collectie S. Vandenberghe) heeft tevens een versiering bestaande uit groepen grote verticale witte slijplijnen die alterneren met kleine donkere slijplintjes. Die versiering lijkt typisch te zijn voor het Brabantse gebied.

nemarken leidde deze import zelfs tot het ontstaan van lokale industrieën, die duidelijk Vlaamse en Brabantse voorbeelden volgden en beconcurrerden.

Toch toont het kleine aantal vondsten in vreemde havens dat de export van hoogversierd aardewerk kwantitatief niet erg belangrijk was. Het gaat eerder om een soort nevenhandel, die steunde op het economisch veel belangrijker verkeer van goederen als textiel en granen.

Tegelijkertijd blijkt deze ceramiek in sommige streken helemaal geen voet aan de grond gekregen te hebben, zoals in Yorkshire, Normandië, Zuidwest-Frankrijk en zelfs in de

Maasvallei. Met deze gebieden bestonden wel degelijk intensieve handelscontacten. De verklaring hiervoor is vrij eenvoudig: in deze streken produceerde men zelf hoogversierde ceramiek die aan de behoefte van de plaatselijke (luke)markt voldeed. Ook hier speelden het marktmechanisme en de concurrentie een essentiële rol, zij het in omgekeerde vorm: de lokale pottenbakkers behielden de controle van de eigen markt zonder importen te hoeven vrezen of na te bootsen.



woonlijk niet geglaazuurd, omdat de oxyden nodig voor het glazuur worden afgebroken bij het heersende tekort aan zuurstof. In de 15de eeuw kent het grijze aardewerk een geleidelijke achteruitgang en omstreeks 1500 wordt het volledig vervangen door roodgebakken ceramiek, dat meestal geheel of gedeeltelijk bedekt is met loodglazuur.

*Rood aardewerk* wordt gebakken in een oxyderende of zuurstofrijke atmosfeer, waarbij er in de oven constant of alleen op het einde van de bakking een redelijke toevoer van zuurstof is. De ijzeroxyden in de klei worden dan geoxydeerd, waardoor het baksel roodbruin kleurt. Deze ceramiek kan ook geglaazuurd worden en hiervoor gebruikte men gewoonlijk een loodglazuur. Glazuur is in feite glas op ceramiek, ontstaan uit gesmolten  $\text{SiO}_2$ . Omdat de smelttemperatuur van dit siliciumdioxide te hoog is ( $1710^\circ\text{C}$ ), heeft men een *flux* nodig, een stof die het smeltpunt van de stoffen in de onmiddellijke omgeving verlaagt. Lood(oxyden) kunnen gebruikt worden als flux, evenals zout en andere stoffen: vandaar ook de benaming loodglazuur of zoutglazuur. In de Nederlanden verschijnt roodgebakken aardewerk omstreeks 1200 en het zou geleidelijk de grijze ceramiek verdringen.

*Witbakkende ceramiek* werd oxyderend gebakken, maar in dit geval gebruikte men klei die rijk is aan kalk, maar niet aan ijzeroxyden. In Andenne versierde men die ceramiek met doorzichtig loodglazuur, dat door enkele ijzerhoudende onzuiverheden wat gelig werd. De Pingsdorfceramiek werd beschilderd met ijzerhoudende verf. De oxyderende bakking kleurde de verf oranje tot bruinrood. Dit gebeurde bij  $800-900^\circ\text{C}$ . Bij hogere temperaturen werden verf en baksel donkerder. In Vlaanderen en Neder-

land werden de witbakkende Andenne- en Pingsdorffprodukten wel ingevoerd, maar in de vroege 13de eeuw verloren ze hun aantrekkingskracht. Verdunde kalkhoudende klei kan ook dienen als pijpaarde: dit is wat men aanwendde bij de hoogversierde ceramiek.

*Steengoed* wordt gekenmerkt door het feit dat de klei een zeer hoge baktemperatuur (circa  $1200^\circ\text{C}$ ) onderging, waardoor ze tot een gedeeltelijke fusie kwam. Vanaf de 12de eeuw is het steeds verder opdrijven van de baktemperatuur een constant gegeven in de pottenbakkersindustrie, omdat dit een manier was om het baksel minder poreus te maken. In de 13de eeuw kende men al het *vroeg-steengoed*, waarvan de klei evenwel nog niet tot fusie gebracht werd. Omstreeks 1300 kwam dan het volwaardige steengoed, maar alleen oude, tertiaire kleien konden die hoge baktemperatuur verdragen. Daarom werd steengoed slechts gemaakt in bepaalde streken, waaronder het Rijnland en Nederlands Zuid-Limburg. Omwille van zijn gunstige ligging en economische organisatie kreeg het Rijnland snel de overhand en leverde massale hoeveelheden steengoed door heel Noordwest-Europa. Vanaf 1350 werd steengoed een algemeen verspreid gebruiksgoed van betere kwaliteit.

*Majolica* is een vrij zacht (circa  $800-900^\circ\text{C}$ ), oxyderend gebakken luxe goed, bedekt met een witte laag ondoorzichtig tinglazuur, waarop met diverse oxyden decoratieve motieven geschilderd werden. Het geheel werd dan afgedekt en beschermd met een laagje doorzichtig loodglazuur. Ontwikkeld in het Middellandse-Zeegebied werd het in de 14de eeuw ook naar de Nederlanden geëxporteerd. Hier ontstond reeds in de 15de eeuw een lokale majolicaproductie, die later tot de *Delftse faïence* (Delfts blauw) zou leiden.

## Literatuur

- Janssen H.L. Later medieval pottery production in the Netherlands. In: Davey P & Hodges R (eds.). *Ceramics and Trade*. Sheffield: 1983, 121-185.
- Verhaeghe F. Laat-middeleeuws hoogversierd aardewerk in de Lage Landen. In: Renaud JGN (ed.). *Rotterdam Papers IV. A contribution to medieval archeology*. Rotterdam: 1982, 151-173.
- Verhaeghe F. La céramique en Flandre (XIIIe-XVe siècle): quelques aspects de l'évolution et de la concurrence. In: Chapelot J, Galinié H, Pilet-Lemière J (eds.). *La cérami-*

que (Ve-XIXe s.). Fabrication - Commercialisation - Utilisation. Actes du premier congrès international d'archéologie médiévale (Paris, 4-6 Octobre 1985). Caen: 1987, 203-225.

## Bronvermelding illustraties

- Mercatorfonds, Antwerpen: pag. 590-591, 2.
- S.E. van der Leeuw, Cambridge: 1.
- Collectie De Meester, Brugge: 3, 5.
- Collectie Cools, Oostende: 4.
- M. Poldermans, Haarlem: 6, 7.
- Collectie S. Vandenbergh, Brugge: 8.

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

### De metamorfose van het medicijn



Simon Rozendaal



Ongeveer tien jaar geleden ontstond de DNA-industrie. In de VS werden rond sommige universiteiten kleine bedrijven opgericht die werden bemand door kersvers afgestudeerden. Ook in andere opzichten deden die bedrijfjes eerder aan universiteitsinstituten denken dan aan industrieën: er werd niets geproduceerd en veel onderzocht.

In die beginperiode in 1979 had ik als wetenschapsjournalist het geluk met verschillende van die pioniers in contact te komen. Ik at Mexicaans met de Nederlander Herbert Heyneker van Genentech in South San Francisco, zat in de sportwagen van Peter Farley van Cetus in Berkeley en bezocht de latere Nobelprijswinnaar Walter Gilbert van Biogen in zijn laboratorium in Cambridge, Massachusetts. Het maakte indruk op een jonge journalist. Allemaal betrekkelijk jonge wetenschapsmensen die zoiets uitstraalden van 'world, here we come'. Er was een algemeen besef dat de recombinant-DNA-techniek grote wetenschappelijke en commer-

ciële mogelijkheden had. Deze mensen wisten bovendien dat zij wetenschappelijk voorop liepen op de rest van de wereld en dus hadden zij het vertrouwen dat zij niet af hoefden te wachten, maar de zaken naar hun hand konden zetten. En dat deden ze ook – vanaf dat moment werd de vooruitgang in de DNA-technologie niet meer door wetenschapsmensen binnen de universiteit bepaald, maar door industriële onderzoekers.

Uit die tijd herinner ik me twee *claims* van de DNA-bedrijfjes: in de eerste plaats dat zij de farmaceutische industrie zouden opslokken en vervolgens de chemische in-

dustrie en ook – en dat was hun wapen daarbij – dat zij alles wat deze bedrijfstakken toen presteerden, ook konden tegen een fractie van de prijs. Immers, de DNA-technici gebruikten bacteriën als minifabriekjes en was het niet zo dat bacteriën groeien als kool wanneer je ze maar in een pot goed verwarmde soep stopt? Enfin, ik kwam terug in Nederland en schreef voor NRC Handelsblad een aantal artikelen waarvan het eerste artikel als kop een opschepperige uitspraak van één van de onderzoekers droeg: "DNA-techniek wordt miljardenindustrie".

Als ik, een kleine tien jaar na



Pillen in productie bij een farmaceutisch bedrijf (Foto: NOVO).



Walter Gilbert (Foto: Hans van der Meer/Hollandse Hoogte).

dato, president-directeur Robert Luciano van de farmaceutische multinational Schering Plough met die twee claims van de DNA-bedrijfjes van toen confronteer, moet hij lachen. Luciano: "Het is duidelijk, beide claims zijn niet uitgekomen. In de eerste plaats zijn de geneesmiddelen die uit de DNA-techniek komen allesbehalve goedkoop en ook is het eerder zo dat de farmaceutische industrie de DNA-bedrijfjes heeft opgeslokt, dan andersom. Veel van die DNA-bedrijfjes begrepen toch niet goed hoe het zakenleven in elkaar steekt. Ze dachten dat ze er al waren als ze een idee hadden. Maar zo is het niet, een ontdekking is geen enkele voorwaarde voor commercieel succes. Overigens acht ik het heel



prijzen door micro-organismen te laten produceren, is niet uitgekomen. Dat is zonneklaar. Om wat voorbeelden te geven van geneesmiddelen die de laatste tijd door

dat elk jaar opnieuw). Groeihormoon – voor dwergen – idem dito: tussen de 15000 en 60000 gulden per jaar.

Als je dit soort bedragen ziet, vrees je zelfs dat de biotechnologie een ramp is voor de budgetten van ziektekostenverzekeraars. Gelukkig is dat ook weer niet waar. In de eerste plaats komt het niet alleen door de DNA-techniek dat nieuwe geneesmiddelen zo duur zijn. Het op conventionele wijze bereide AZT tegen AIDS kost ook ruim vijftien duizend gulden per jaar en zelfs zoiets ogenschijnlijk simpels als het pilletje lovastatine (simvastatine in Nederland) dat de hoeveelheid cholesterol in het bloed doet zakken, kost per jaar al gauw evenveel als enkele compact-discspelers.

In de tweede plaats betreft het hier een nieuwe techniek. En bij elke nieuwe techniek geldt nu eenmaal het mechanisme van de 'learning curve': langzaam maar zeker krijgen technici de nieuwe techniek onder de knie en slagen ze er in steeds efficiënter te produ-

## *De DNA-techniek? Dat kan tegenwoordig iedere middelbare scholier*

goed mogelijk dat het voormalige DNA-bedrijf Genentech er als enige in slaagt om tot de top van de farmaceutische industrie door te dringen. Op zichzelf is dat een geweldige prestatie. De petrochemische industrie heeft ook wel eens de ambitie gehad om aan farmacie te doen, maar is daar nooit in geslaagd."

### **Ramsj-prijzen**

Het pochen van tien jaar geleden dat de DNA-techniek erin zou slagen om tal van geneesmiddelen voor *ramsj-*

de genetische-manipulatietechniek zijn bereid: Tissue-type Plasminogen Activator (TPA), het nieuwe middel dat na een hartinfarct de sterfte aan het volgende hartinfarct aanzienlijk kan reduceren, kost bijna vijfduizend gulden per dosis. Factor VIII, het middel waarmee lijders aan bloederziekte (hemofilie) geholpen zijn, gaat zo'n vijftigduizend gulden per jaar kosten – een bedrag waarvoor je tegenwoordig een leuke verdieping in elke andere Nederlandse binnenstad dan de Amsterdamse kunt kopen (en

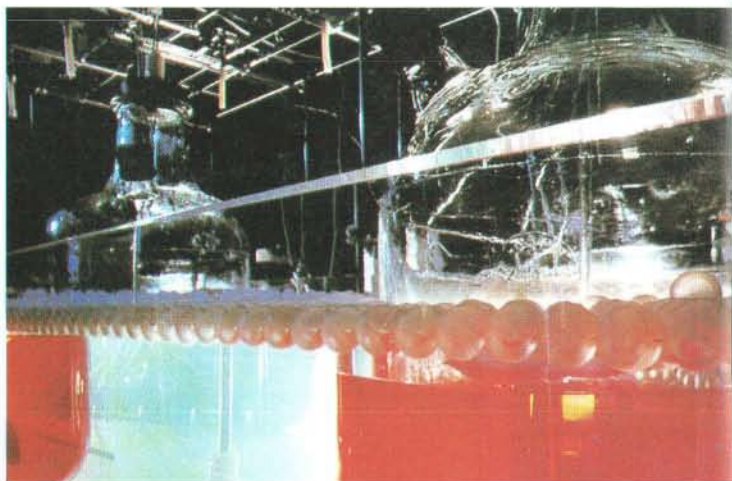


ceren. De Portugese onderzoeker Moreira die bij Schering Plough werkt aan de technologische problemen om één van de nieuwe biotechnologische geneesmiddelen (GMCSF, tegen o.a. AIDS en kanker) op grote schaal te produceren, heeft alle vertrouwen dat de DNA-geneesmiddelen op den duur goedkoper zullen worden: "Bij TPA is de prijs al aan het zakken en dat gaat ook met de andere DNA-produkten gebeuren. Vergeet u niet, het heeft ook heel lang, enkele decennia, geduurd voor we er in slaagden om schimmels zo'n dertig gram *antibiotica* per liter te laten produceren. Dat is de learning curve waar we met middelen als TPA, interferon en GMCSF ook doorheen moeten. We moeten de techniek in de vingers krijgen en dat duurt wel enkele jaren. Dan zullen de prijzen ook omlaag gaan."

De tweede claim van de DNA-industrie is ogenschijnlijk nog het minst uitgekomen: dat zij andere bedrijfstakken, te beginnen met de farmaceutische, zou opslokken. Veel van dergelijke kleinschalige bedrijfjes die zich op de DNA-techniek richtten en met kleurrijke prospectussen een hoop geld in Wall Street los wisten te peuten, zijn inmiddels failliet.

Toch is in vijf jaar tijd de farmaceutische industrie wel veranderd. In de eerste plaats is er sprake van een mentaliteitsverandering in een industrie waar chemici, die handige molekuulknutselaars, meestal toch hoger werden aangeslagen dan biologen.

De Amerikaan Alejandro Zaffaroni die verschillende DNA-bedrijven heeft opgericht (DNAX, Alza), zei eens in een toespraak: "In de farmaceutische research is er een stratificatie naar een hiërarchie



**Diepgevroren  
*E.coli*-bacteriën,  
de werkpaarden  
van de nieuwe  
biotechnologie  
(Foto: Hoffmann-  
La Roche, Mij-  
drecht).**



waar de chemie aan de top staat, biologische wetenschap in het midden en formuleringsresearch onderaan." Weliswaar is het nog steeds zo dat aan formuleringsresearch (hoe ontwerpt men een pil zo dat het actieve bestanddeel in het lichaam het meeste effect heeft) weinig aandacht wordt geschonken, dank zij de successen van de DNA-techniek doet elk zichzelf respecterend farmaceutisch bedrijf tegenwoordig aan biotechnologie. Researchdirecteur Pat Cage van Hoffmann-La Roche in Nut-

ley, New Jersey, vindt zelfs dat je dit farmaceutische bedrijf par excellence (o.a. de uitvinders en producenten van de *tranquillizers* valium en librium) tegenwoordig met evenveel recht een *biotech*-bedrijf kunt noemen.

De afgelopen jaren hebben immers tal van farmaceutische bedrijven zich gehaast om samenwerkingscontracten met de kleine DNA-bedrijfjes aan te gaan of, als dat te veel rompslomp betekende, gewoon een dikke portefeuille te voorschijn te trekken en de bedrijfjes op te kopen -



De 'ouderwetse' interferonproductie uit een kweek van menselijke cellen (Foto: Hoffmann-La Roche, Mijdrecht).

zich voor tien miljoen dollar bij Biogen in, voor welk bedrag ze twaalf procent van de aandelen kregen, contact met de frontlinie van de nieuwe DNA-wetenschap en het recht op het eventuele interferonproces. In dezelfde tijd, zo rond 1978, ging Roche met Genentech in zee om eveneens een interferonprocédé te ontwikkelen.

De competitie Roche-Schering kwam in feite neer op de strijd tussen de DNA-bedrijfsjes Biogen en Genentech. Als het nog verder wordt toegespitst zelfs op een strijd tussen twee van de meest gerenom-

was het voor ons nog de moeite waard geweest. Dank zij interferon kunnen wij bijvoorbeeld straks een geneesmiddel als GM-CSF op de markt brengen.' Met andere woorden: interferon was het 'Sesam open u' tot de wereld van de biotechnologie.

### Interleukinen

Een opsomming van waar dit toe heeft geleid. Men verwacht binnen de farmaceutische industrie vrij veel van de interleukinen, hormoonachtige stoffen die door witte bloedcellen als communicatiemiddel worden gebruikt en die een belangrijke rol spelen bij de afweer tegen tal van ziekten. Van de verschillende interleukinen (die onderling niets met elkaar te maken hebben, de term interleukine betekent 'iets tussen witte bloedcellen') is IL-2 het verst. IL-2 stimuleert verschillende afweercellen die indringers opruimen. Belangrijk schijnt te zijn dat de vervaarlijke 'natural killer cells' worden opgepept. Deze cellen zijn zelfs tot het opruimen van kwaadaardige tumoren in staat. IL-2 wordt al sinds 1984 in klinieken beproefd, op zowel AIDS- als kankerpatiënten. Vooral bij de behandeling van kanker verwacht men er veel van.

IL-2 is in 1982 door de Japanse onderzoeker Taniguchi ontdekt – een aanwijzing te meer dat Japan de afgelopen jaren heel sterk opkomt in de farmaceutische research. Het Japanse bedrijf Ajinomoto dat Taniguchi financieel steunde, bezit het octrooi en het Amerikaanse Cetus (een DNA-bedrijf), Johnson & Johnson (samen met het DNA-bedrijf Amgen) en het Zwitserse Hoffmann-La Roche (samen het Amerikaanse biotechnologiebedrijf Immu-

## Interferon was het 'Sesam-open-U' tot de wereld van de biotechnologie

soms voor idiote bedragen van een miljoen dollar of meer per medewerker.

Als gevolg hiervan ontstonden vaak fascinerende competitities. Twee farmaceutische giganten die er betrekkelijk snel bij waren zijn Schering Plough en Hoffmann-La Roche. Ze zaten allebei om een opvolger voor hun laatste doorbraak (het antibioticum gentamycine bij Schering Plough, valium bij Roche) verlegen. Schering Plough wilde bovendien wel eens in de top tien van de farmaceutica doordringen en Roche wilde daar niet uit verdwijnen. Beide bedrijven zijn toen in een agressieve concurrentie geraakt rond het middel *alfa-interferon*, het middel dat in 1980 nog als *magic bullet* tegen kanker de omslag van *Time-magazine* haalde.

Beide bedrijven gingen een samenwerking met een DNA-bedrijfje aan. Schering kocht

meerde DNA-technici uit onze tijd, Walter Gilbert van Biogen en David Goodall van Genentech. Na de wetenschappelijke strijd die door Roche werd gewonnen – niet verbazingwekkend, Genentech is nog steeds verreweg het beste DNA-bedrijfje ter wereld – volgde een heftige octrooiensrijd die uiteindelijk in der minne werd geschikt.

Achteraf vraag je je als buitenstaander overigens af of het allemaal de moeite waard is geweest. Interferon is zeker niet dat magische geneesmiddel tegen kanker, verkoudheid en tal van virusziekten geworden dat het rond 1980 beloofde te zullen worden. Schering Plough verkoopt nu per jaar veertig miljoen dollar aan interferon – niet slecht maar voor een geneesmiddel niets bijzonders. Toch zegt Schering-topman Luciano: "Zelfs als we geen dollar aan interferon hadden verkocht



nex) zijn in een nek-aan-nek-race gewikkeld om het op de markt te krijgen.

Ook IL-3 dat zich nog in het proefdierstadium bevindt zal waarschijnlijk toepassing in de kankerbestrijding vinden. Daarnaast schijnt het een krachtig wondheilmiddel te zijn, dat de aanmaak van huidepitheelcellen krachtiger bevordert dan welk ander middel ook, zo vertelt Roche-onderzoeker Pat Cage. "Als je het op een wond smeert dan zie je die wond als het ware voor je ogen dicht gaan."

In de loop van dit jaar gaat ook interleukine-4 de kliniek in. Dit IL-4 doet iets anders: het stimuleert bepaalde beemercellen die er voor zorgen dat vernietigers van indringers in actie komen. IL-4 zal net als IL-2 op AIDS- zowel als op kankerpatiënten worden uitgetoetst.

Veel verwachtingen worden er gekoesterd ten aanzien van GMCSF, de afkorting van granulocyte macrophage colony stimulating factor. Dat is net als de interleukines een lichaamseigen eiwit met een bloedbeschermende functie. Het wordt sinds vorig jaar in ziekenhuizen beproefd en het belang ervan is dat het de vervelende bijwerkingen kan compenseren van veel middelen die bij chemotherapie van kanker worden gebruikt. Daardoor moet het straks mogelijk worden om kankerpatiënten met hogere doses chemotherapeutica te behandelen. Maar ook voor AIDS-patiënten zal GMCSF wellicht belangrijk worden. Bij Schering Plough, een van de drie bedrijven die hier voorop lopen - de andere twee zijn Sandoz en Immunex - acht men het zelfs zeer wel denkbaar dat over enkele jaren alle AIDS-patiënten met het nieuwe middel behandeld zullen worden.

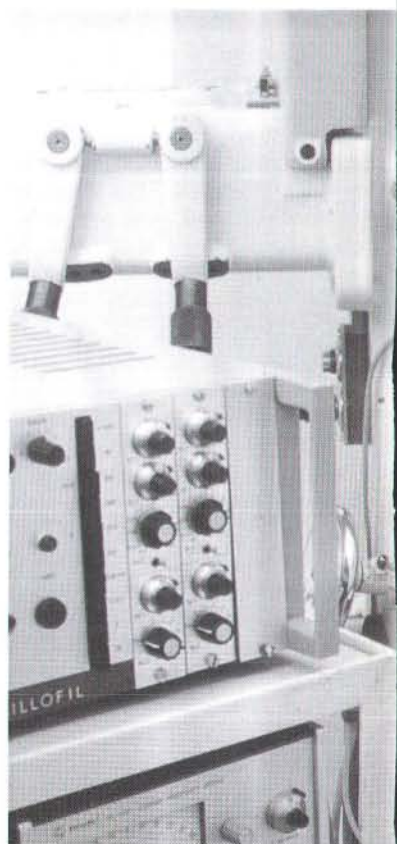
## Synergie

Op zichzelf zijn veel van de hiervoor genoemde toekomstige geneesmiddelen geen *magic bullets* die plotsklaps een ernstige ziekte zullen elimineren. Het inzicht wint echter veld dat ziektes als kanker en AIDS zo complex zijn dat er vooralsnog geen wondermiddelen te verwachten zijn die het in hun eentje zullen klaren. Steeds vaker, zo is de verwachting, zullen verschillende geneesmiddelen naast elkaar worden gebruikt. Een extra argument is in dit verband dat sommige geneesmiddelen elkaar op vooralsnog onbegrepen wijze versterken.

Zo heeft Pat Cage het over een dramatische *synergie* (de vakterm voor onderlinge versterking) tussen het nieuwe interleukine-2 en het al weer minder nieuwe alfa-interferon bij de bestrijding van bepaalde tumoren. Cage: "Interferon doet alleen iets bij een bepaalde vorm van leukemie (*hairy cell*) maar niet of weinig bij andere kankers. Voor zo ver we nu weten geldt dat ook voor interleukine-2. Dat doet alleen iets bij een bepaalde kwaadaardige huidkanker en niets bij andere tumoren. Het vreemde is dat een combinatie van de twee opeens in staat is om dertig procent van een groep muizen met een heel vervelende darmtumor compleet vrij van kanker te krijgen, terwijl ze dat afzonderlijk niet kunnen. Blijkbaar kunnen twee marginale middelen samen opeens een krachtig medicijn vormen." Ook ten aanzien van AIDS hoopt men dat de toekomstige geneesmiddelen te zamen extra krachtige cocktails zullen vormen. Tot nu toe heeft men eigenlijk alleen het middel AZT, dat de ziekte weliswaar langer vertraagt dan de

meeste artsen enkele jaren geleden dachten, maar dat het sterven hoogstens enkele jaren uitstelt en bovendien nogal wat bijwerkingen (bloedarmoede met name) heeft. Door nu AZT te combineren met injecties van de nieuwe lichaamseigen eiwitten als de interleukinen en GMCSF hoopt men de werking van AZT aanzienlijk te kunnen versterken. De eerste aanwijzingen dat er ook bij AIDS van een dergelijke *synergie* sprake is, zijn er. Zo blijkt de combinatie van interferon en AZT duizendmaal zo sterk op het aids-virus in te werken als elk van deze twee produkten afzonderlijk.

Het ziet er bovendien naar uit dat AZT (al of niet geholpen





door steuntjes in de rug zoals de interleukinen, interferon of GMCSF) niet het enige geneesmiddel tegen aids zal blijven. Bij Hoffmann-La Roche meldt men dat naar alle waarschijnlijkheid het veelbelovende DDC, ondanks andersluidende berichten in de pers, toch op komst is.

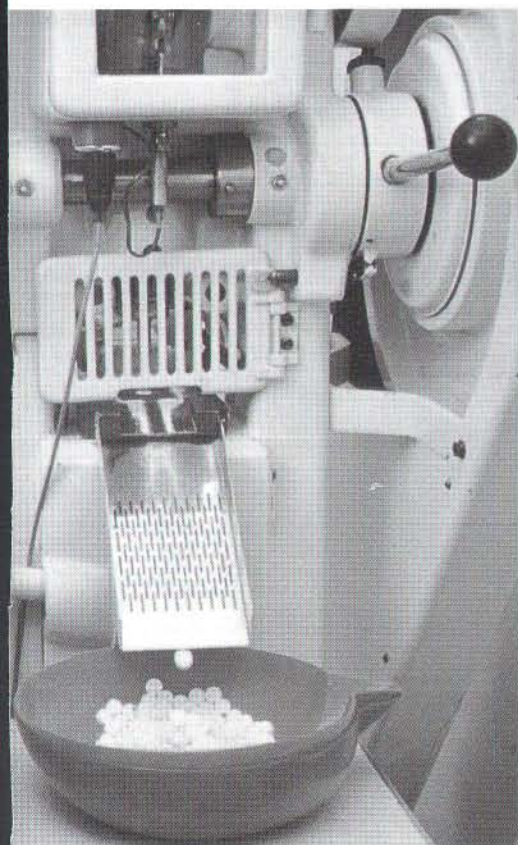
DDC (dideoxycytidine) is een chemisch familielid van AZT (azidothymidine) en heeft op papier een nog krachtiger werking op het AIDS-virus en bovendien minder bijverschijnselen. De essentie is dat DDC in de reageerbuis een tien- tot honderd maal zo sterke voorkeur heeft voor het AIDS-virus boven de menselijke cellen. Vandaar ook dat er al enkele jaren

reikhalzend naar de komst van DDC wordt uitgezien. Zo vertelde de bekende AIDS-arts dr Sven Danner vorig jaar nog te verwachten dat hij al in 1988 op het AMC-ziekenhuis in Amsterdam AIDS-patiënten met het nieuwe middel hoopt te behandelen.

Bij de klinische tests in de VS kwam er echter een kink in de kabel. Misschien heeft het te maken met het feit dat DDC geen produkt is uit de recombinant-DNA techniek en geen lichaamseigen eiwit. Feit is evenwel dat DDC onverwacht neurologische complicaties bij sommige AIDS-patiënten veroorzaakte. Zo her en der vreesde men al dat het zo gewenste geneesmiddel nu van de baan zou zijn, maar dat

was niet zo. Dr Sam Broder van het Amerikaanse overheidslaboratorium NIH, die de werking van DDC bij AIDS het eerst heeft aangetoond, heeft de afgelopen maanden een veelbelovende therapie uitgewerkt waar AIDS-patiënten de ene week het al bekende AZT krijgen en de andere week DDC. De neurologische complicaties van DDC manifesteren zich dan niet, terwijl tegelijkertijd wordt geprofiteerd van de krachtiger virusdodende werking van het nieuwe middel. Pat Cage van Roche denkt dat er al met al slechts een half tot een heel jaar verloren is gegaan en dat DDC (als het middel niet zo'n snelle overheidsgoedkeuring krijgt als indertijd AZT) in de loop van 1989 beschikbaar kan zijn voor dr Sven Danner en zijn collega's overal in de wereld. Roche zal DDC op de markt brengen, ondanks dat het octrooi bij de Amerikaanse overheid berust. Het Zwitserse bedrijf heeft een exclusieve licentie van de overheid gekregen, onder meer omdat Cage in een onderhandeling met die overheid een flesje DDC uit zijn zak kon trekken als bewijs dat Roche een produktiemethode had ontwikkeld. Cage, trots glimlachend: "Dat was net in de tijd dat Wellcome de grootste moeite had om genoeg AZT te produceren en de hele wereld daarover mopperde. Met dat flesje in de hand kon ik de Amerikaanse overheid garanderen dat wij nooit een tekort aan DDC zouden hebben." Opmerkelijk is overigens dat de meeste bedrijven die aan AIDS werken – en dat zijn de meeste, want hoe macaber het ook klinkt, voor de farmaceutische industrie gaat AIDS een goudmijn worden – inmiddels meer verwachten van geneesmiddelen voor

**Meer traditionele vormen van geneesmiddelenproductie zijn nog niet obsoleet (Foto: NOVO).**





mensen die al aids hebben of seropositief zijn, dan van preventieve vaccinaties voor gezonde mensen. Twee jaar geleden, toen de eerste proefineringen bij chimpansees begonnen was dat nog anders. Inmiddels ziet het er echter naar uit dat het nog heel lang duurt voor er een inenting komt die mensen kan beschermen tegen besmetting met het virus dat het afweerstelsel sloopt. Dr Martin Rosenberg van Smith, Kline & French: "Zelfs de passieve overdracht van afweerstoffen, de meest simpele inentingsvorm, doet niets tegen het AIDS-virus, zo weten we nu. Nee, ik geloof dat er een algemeen gevoel in de industrie is dat er de komende jaren meer te verwachten valt van geneesmiddelen dan van vaccinaties tegen AIDS."

### Bekering

Niet alle bovengenoemde potentiële geneesmiddelen zullen ook werkelijk de apotheek halen. Bij de klinische tests sneuvelen heel wat kandidaten, omdat ze niet genoeg werken of teveel bijwerkingen hebben. Door de bank genomen wordt slechts één op de drie à vier middelen die in een klinische test zitten ook een echt medicijn.

Toch is het nu al onmiskenbaar dat het farmaceutisch laboratorium, dank zij de biotechnologie een tweede jeugd doormaakt. Lange tijd heeft men niet zoveel middelen in klinische tests gehad als nu en veel van die middelen zijn met behulp van genetische technieken in micro-organismen geproduceerd.

De claim van de DNA-bedrij-

ven van tien jaar geleden dat ze de farmaceutische industrie zouden overnemen was natuurlijk jeugdige overmoed, maar weinig wetenschapsmensen in de Amerikaanse farmaceutische bedrijfstak zullen ontkennen dat de DNA-bedrijfsjes de farmaceutische industrie hebben bekeerd.

Interessant in dit verband is dat de techniek die deze omwenteling heeft veroorzaakt – de recombinant-DNA-methode – allesbehalve exclusief meer is. Wie bijvoorbeeld bij het Roche-instituut voor moleculaire biologie in Nutley, New Jersey vraagt wat men aan de DNA-techniek doet, krijgt als antwoord: "De DNA-techniek? Dat is zo simpel, dat kan iedere middelbare scholier inmiddels. Wij richten ons liever op de dingen die nu nieuw zijn."

## STRALING op je bord?

Rob Biersma

Voedseldoorstraling is een techniek waarbij voedsel enige tijd wordt blootgesteld aan gammastraling met het doel de houdbaarheid te vergroten en ziekteverwekkers te elimineren. De *gammastraling*, afkomstig van een radioactieve bron, brengt beschadigingen teweeg in levende cellen waardoor deze zich niet meer kunnen delen. Het gevolg is dat bacterie- en schimmelsporen worden gedecimeerd, zodat het voedsel minder snel verrot of beschimmeld raakt. Ook worden cellen van het voedsel zelf beschadigd wat soms

voordelen heeft: doorstraalde aardappelen lopen niet meer uit.

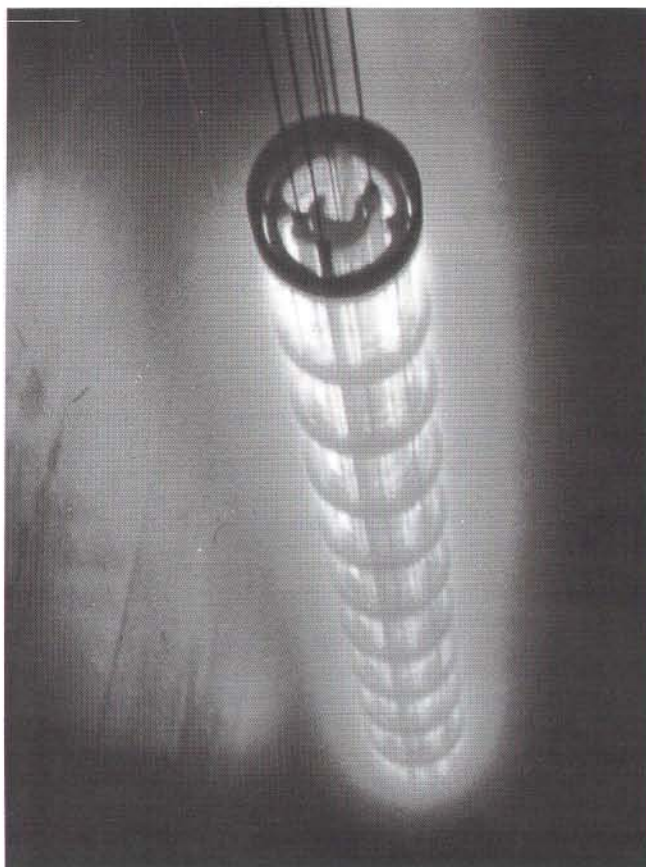
*De besmetting van voedsel met ziekteverwekkende bacteriën neemt de laatste tijd grote vormen aan*

Doorstraling is een eufemisme voor bestraling. Het verdoezelende woord is door de ontwikkelaars van de tech-

niek bedacht, omdat leken bij het woord 'bestraling' teveel aan kanker en kernbommen denken. Ook bekruipt de consument bij het woord 'bestraling' het gevoel dat de radioactiviteit in zijn aardbei is gaan zitten, terwijl men met het woord 'doorstraling' eerder een zuiverende werking associeert.

Zoals bij vrijwel alle toepassingen van radioactiviteit stuit voedseldoorstraling op heftige weerstand bij het publiek. Zelfs al laat men zich nog wel overtuigen dat bestraald voedsel niet radioactief wordt





Een cobaltbron, zoals die wordt gebruikt bij voedseldoorstraling  
(Foto: Gammaster BV, Ede).

— wat inderdaad niet het geval is — dan ontstaat er toch het gevoel dat de voedingsindustrie dit keer een stap te ver is gegaan: met voedsel moet je niet knoeien en zeker niet met radioactieve middelen.

Deze vage weerzin van het publiek wordt niet weggenomen door 'deskundigen'. De WHO (Wereldgezondheidsorganisatie), de FAO (Wereldvoedselorganisatie) en het IAEA (Internationaal Atoomenergie Agentschap) mogen wel beweren dat voedseldoorstraling een veilig middel voor conservering van voedsel is,

maar waarom moest er dan zoveel wetenschappelijk onderzoek worden verricht voordat de deskundigen deze waarheid durfden te verkondigen? Zouden er toch geen schadelijke bijwerkingen bestaan die verborgen worden gehouden? De mensheid heeft duizenden jaren zonder voedseldoorstraling gekund; waarom zou deze techniek nu plotseling nodig zijn? En welke instanties hebben belang bij invoering van deze techniek? Het boek 'Voedseldoorstraling — voor of tegen?' van Tony Webb en Tim Lang pro-

beert antwoord te geven op deze vragen. Na enkele bladzijden is het overigens wel duidelijk wat het standpunt van de auteurs is — onvoorwaardelijk tegen, er zouden uitsluitend nadelen bestaan. Het boek is in dit opzicht zelfs kinderachtig, het kleinste voordeeltje van voedseldoorstraling wordt weggehoond. Een voorbeeld. De kooktijd van gedroogde bonen zou verminderen na voedseldoorstraling. Volstrekt onbelangrijk, vinden Webb en Lang: "Aangezien de kooktijd voor gedroogde voedingsmiddelen toch al vrij kort is, is het aanvechtbaar of dit echt nuttig is." Wie zelf wel eens bonen heeft gekookt, zal bij het lezen van dit oordeel de wenkbrauwen fronsen: zelfs na een dag inweken duurt het nog één uur voor bruine bonen gaar zijn (om nog maar te zwijgen van de kooktijd van sojabonen).

'Voedseldoorstraling' is een vertaling van het Engelse boek 'Food irradiation: the facts'. In Engeland zijn onlangs enkele officiële rapporten verschenen over voedseldoorstraling. Deze rapporten waren zeer geruststellend: voedseldoorstraling is veilig. Het boek van Webb en Lang is een reactie daarop. Dit maakt dat het boek voor de Nederlandse situatie niet zo geschikt is. Het voorwoord van M.I.A. Baas en J. Kamsteeg doet daaraan weinig af. Het lijkt voor de hand te liggen dat binnenkort een groep kritische wetenschappers met een eigen Nederlands boek komt, want juist in Nederland is de techniek van voedseldoorstraling vrij ver gevorderd. Specerijen en garnalen worden hier al regelmatig doorstraald. Het conceptrapport van de Gezondheidsraad, dat een maand of wat geleden voortijdig in de publi-



citeit kwam, overwoog zelfs doorstraling van varkensvlees. De reden hiervoor is dat besmetting met ziekteverwekkende bacteriën de laatste tijd zulke vormen aanneemt dat de huidige keuringen onvoldoende zijn om de volksgezondheid te verzekeren.

Wat is de voornaamste wetenschappelijke bedenking tegen voedseldoorstraling? Dat is deze: tijdens en na de doorstraling worden chemische verbindingen gevormd, *radiolyten*, die misschien giftig of misschien kankerwekkend zijn. Let wel: misschien. Het is een veronderstelling die moeilijk te weerleggen valt. Want met al het onderzoek van de wereld kan men het omgekeerde nooit bewijzen, net zo

als niet te bewijzen valt dat God niet bestaat. Wel kan veel onderzoek het gevaar van de radiolyten zeer onwaarschijnlijk maken en dit is precies waar de voorstanders van de voedseldoorstraling op wijzen.

Een tweede bezwaar dat Webb en Lang tegen voedseldoorstraling aanvoeren is dat het gehalte aan vitaminen na behandeling van bepaalde voedingsmiddelen sterk daalt, in het bijzonder het gehalte

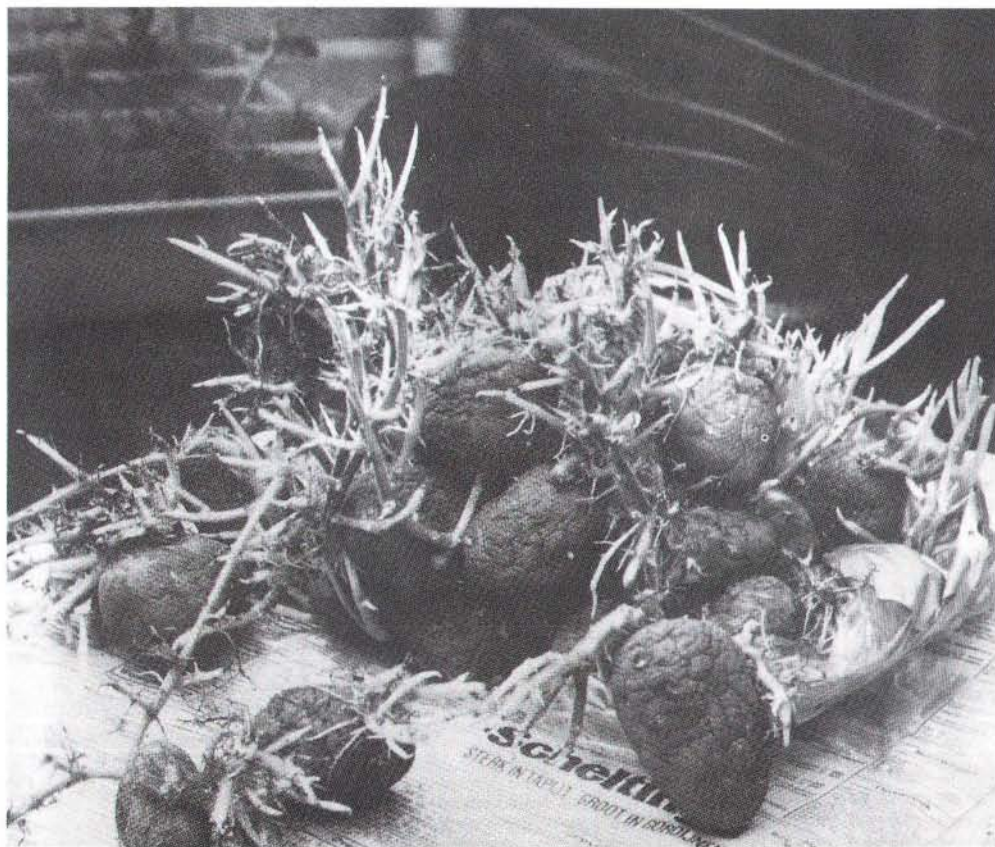
---

*Zelfs na een dag inweken duurt  
het nog een uur voor bruine  
bonen gaar zijn*

---

Een kritiekpunt van Webb en Lang is dat de officiële commissies de 'belastende' onderzoeksresultaten verdoezelen, maar zij maken deze beschuldiging niet hard.

aan *vitamine E*. Dit werd vastgesteld bij Amerikaanse ziekenhuispatiënten die volstrekt bacterievrij voedsel moesten hebben en daarbij werd voedseldoorstraling toe-





gepast. Zelfs kunstmatige toevoeging van vitamine E hielp niet, omdat dit door de radio-lyten kennelijk weer afgebroken werd. Ook Baas en Kamsteeg tillen zwaar aan dit argument.

In 'Voedseldoorstraling' wordt een beeld opgeroepen van een maatschappij waarin slecht voorgelichte minimumlijders zijn aangewezen op goedkoop doorstraald voedsel met een te laag vitaminegehalte. Wat Webb en Lang hierbij verzwijgen is dat veel afhankelijk van de mate van doorstraling. Wie absoluut bacterievrij voedsel wil hebben, zal het voedsel aan een grote dosis straling onderwerpen – en daarmee het gehalte aan vitaminen ook drastisch

doen dalen. Maar bij voedsel voor het gewone publiek zal de dosis maar zeer gering zijn: de bacteriën en schimmels worden niet geëlimineerd maar gedecimeerd, waardoor de bewaarperiode wordt verlengd. Van vitaminearm voedsel is hierbij geen sprake. Het derde bezwaar van Webb en Lang is het misbruik van de techniek. Bedorven voedsel wordt 'ontsmet' en gewoon in de handel gebracht; bacteriologisch valt er niets aan te tonen, want de bacteriën zijn dood. Toch kan het voedsel giftig zijn door de bacteriële toxinen die zijn achtergebleven. Dit is wel mogelijk, maar kan door strenge controle worden tegengegaan. Ook zijn er *immunochemische* technieken in de maak die achteraf kunnen vaststellen of er sprake was van bedorven voedsel, door te kijken naar *extracellulaire polysacchariden* (EPS).

In 'Voedseldoorstraling' wordt een groot deel van de tekst besteed aan de maatschappelijke verschuivingen die ons te wachten staan als de techniek gemeengoed wordt. Het grootkapitaal, de grootwinkelbedrijven en de internationale handel zullen zich als eerste van de techniek bedienen en de consument wordt er het slachtoffer van. Ach, het zal wel. Ik hoop dat de auteurs voor de Oosteuropese landen, waar voedseldoorstraling ook wordt toegepast, soortgelijke nadelen weten te bedenken.

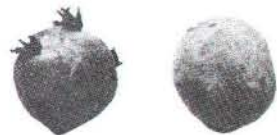
Een kwalijke eigenschap van het boek is dat soms lasterpraatjes worden rondgestrooid. Zo wordt zonder blikken of blozen de ICRP (International Commission on Radiological Protection) vereenzelvigd met de nucleaire industrie, wat toch echt niet waar is. De FAO, de WHO, de IAEA, alles en

iedereen zou zijn omgekocht door de almachtige nucleaire industrie die op deze manier van zijn kernaafval verlost kan worden.

Wat in het boek nergens gebeurt is het maken van een afweging. Wat zijn de voordelen van voedseldoorstraling en wat zijn de nadelen als we de techniek niet gebruiken? Want ook zonder voedseldoorstraling moet voedsel ontsmet worden: gasbehandelingen van bijvoorbeeld graan en steriliseren van conserven door koken. Het valt nog te bezien waardoor de meeste vitaminen verloren gaan.

Voedseldoorstraling is voor sommige produkten al onmisbaar, bijvoorbeeld voor tropische produkten als specerijen. Koken en gasbehandelingen bederven de smaak, terwijl deze vaak bacterieel besmette produkten ook in koude gerechten worden toegepast. Doorstraling van specerijen is daarom in veel landen al verplicht. Het is niet onaannemelijk dat dezelfde verplichting over enige tijd ook voor garnalen en kippevlees geldt. Maar voor het zover is zal nog heel wat discussie plaatsvinden. Het boek van Webb en Lang is zeker het eerste in een lange rij. Helaas is het nogal vooringenomen en eenzijdig. Wie echt iets over doorstraling van voedsel wil weten, zal het met een informatiever boek moeten doen.

Tony Webb en Tim Lang, Voedseldoorstraling – Voor of tegen? Met een voorwoord van dr M.I.A. Baas en dr J. Kamsteeg. Haarlem: H.J.W. Becht, 1988. ISBN 90-230-0647-x



Doorstraling wordt veel toegepast bij aardappelen. Zij krijgen dan bovenstaand vignet. (Foto's: Stichting Biowetenschappen en Maatschappij).



## Chemie in het dagelijks leven

Tot en met 11 september 1988 zal in het Technisch Tentoonstellingscentrum TTC van de TU Delft de tentoonstelling 'Chemie in het Dagelijks Leven' te zien zijn. Deze expositie is vervaardigd in opdracht van de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie.

Chemie is niet alleen het geheimzinnige spel van atomen en moleculen in reageerbuisen en raffinaderijen. De allergrootste reageerbuis is de natuur zelf. Denk maar aan het groeien en bloeien van planten en bomen, aan de geurende stof waaraan u een roos herkent, de zoete smaak van druiven of het bitter van paprika. Van de natuur hebben de chemici het vak geleerd. Smaakstoffen, geurstoffen en kleurstoffen kan de mens in laboratorium en fabriek vervaardigen. Geneeskrachtige stoffen, constructiematerialen en verfstoffen hebben we opgepikt als goede ideeën uit de natuur. Chemische gebeurtenissen spelen zich welhaast elke seconde op

welhaast elke plaats af. Een roestende spijker, een groeiende plant, het gaar worden van aardappels of het hard worden van een nieuwe verflaag, zijn allemaal chemische gebeurtenissen. Eigenlijk zijn we gewend om die gebeurtenissen pas chemie te noemen als er met een technisch of wetenschappelijk oog en met behulp van formules naar wordt gekeken. Als we om ons heen kijken zien wij echter niets anders dan toepassingen van chemie.

Chemie en milieu lijken de laatste jaren op onverbreekelijke wijze met elkaar verbonden. En dan bedoelt men dat niet in gunstige zin. Toch is het diezelfde chemie, die moet helpen oplossingen aan te dragen om afvalstoffen onschadelijk te maken, of weer voor gebruik geschikt te maken. Geen dichtbevolkt gebied kan nu of binnenkort zonder waterzuiveringsinstallaties. Geen industrie kan zich permitteren haar afval zo maar ergens neer te gooien. De kennis van stoffen, die schadelijk

kunnen zijn voor mens, dier en milieu nam de laatste tijd snel toe. Wat tot voor kort als onschuldig werd beschouwd, blijkt niet altijd zo ongevaarlijk te zijn.

Overheid, industrie en milieu-groepen in ons land lijken nu in belangrijke mate op één lijn te liggen, sinds er in grote lijn overeenstemming bestaat over een fundamentele aanpak van het afvalprobleem in Nederland, vooral wat het chemisch afval betreft. Het Technisch Tentoonstellingscentrum TTC, Kanaalweg 4, 2628 AL Delft, is dagelijks geopend van 10-17 uur en op zondag van 13-17 uur. Het is gesloten op erkende feestdagen. De toegang is gratis.

Bij groepsbezoek aan de tentoonstellingen in het TTC wordt gezocht vóóraf met het TTC contact op te nemen (☎ 015-783038). Voor begeleiding kan desgewenst zorg worden gedragen. Voorts kunnen op verzoek enige films worden vertoond.

## Gezond 2000

Onder de titel 'Gezond 2000' is in het Museon in Den Haag tot en met 11 september een expositie over gezondheidszorg in de naaste toekomst ingericht. Op een niet alledaagse manier confronteert deze tentoonstelling de bezoeker met een andere manier van denken over gezondheidszorg. Het doel is om bij een breed publiek belangstelling te wekken voor moeilijk bespreekbare onderwerpen op dit terrein.

Arts/publicist Ivan Wolffers heeft het draaiboek en de teksten zodanig geschreven, dat de presentatie zeker ook jongeren zal aanspreken. Daardoor kan de ex-

positie bij sommige ouderen hier en daar shockerend overkomen. Het Museon, Stadhouderslaan 41, 2517 HV Den Haag, is geopend op dinsdag t/m vrijdag van 10.00 tot 17.00 uur, op zaterdag, zon- en feestdagen van 12.00 tot 17.00 uur. De toegangsprijs is f 3,- voor volwassenen en jongeren vanaf 13 jaar. Kinderen van 5 tot en met 12 jaar en houders van een 65+ Pas betalen f 2,50. De toegang is gratis voor kinderen tot en met 4 jaar, voor leden van de Vereniging van Vrienden van Museon en Omniversum, voor houders van de Nationale Museumkaart en het CJP.



De laatste Foto van de Maand in Natuur & Techniek is van de hand van Sylvia Jong uit Weert. Zij fotografeerde een pannetje waarin melk is aangebrand en dat vervolgens een tijdje 'in de Biotex' heeft gestaan. Een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek is haar prijs.

Na twee jaar fotowedstrijd besloot de jury dat het beter was ermee te stoppen, omdat ze de afgelopen maanden soms moeite had uit de overigens vele inzendingen een kwalitatief goede foto te selecteren die ook het onderwerp natuur en techniek in zich verenigde.

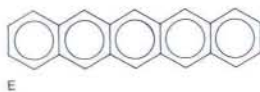
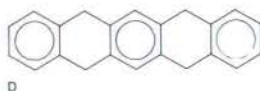
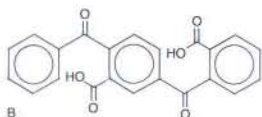
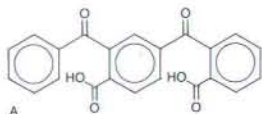


## OPGAVEN & PRIJSVRAAG

### Prijsvraag

#### Oplossing mei

De viertrapsreactie uit het meinum-  
mer, waarvan alleen de reac-  
tieomstandigheden en de uit-  
gangsstoffen gegeven waren, le-  
vert uiteindelijk pentaceen op.  
Het reactieschema ziet er als volgt  
uit:

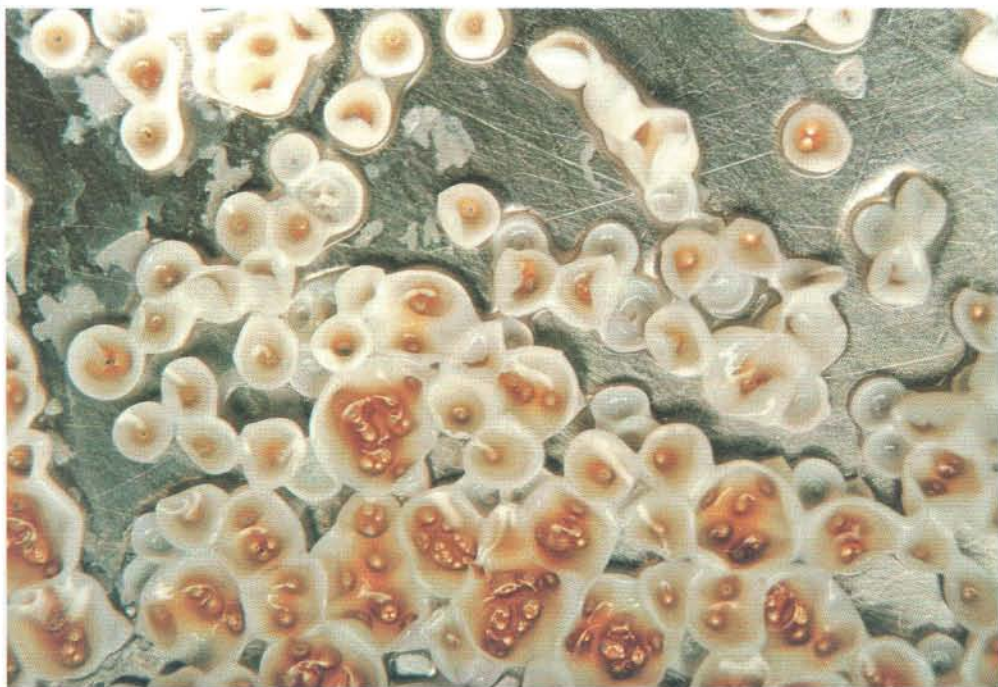


Na loting onder de goede inzen-  
ders gaat een boek uit de Weten-  
schappelijk Bibliotheek van Na-  
tuur & Techniek naar Micheline  
Demol in Gent. Bovenaan de lad-  
der stonden al twee deelnemers  
met 54 punten die echter allebei  
niet inzonden. Na deze ronde  
voegde zich daar één concurrent  
bij. Loting deed het gratis jaar-  
abonnement bij P. de Visschere  
uit Pittem (B) belanden.

#### De professor 25 jaar getrouwd

Een viertal lezersreacties noopt  
me nog terug te komen op de  
oplossing van het vraagstuk uit  
het maartnummer. De oplossing  
is gepubliceerd in het meinum-  
mer. Het probleem ging over de  
professor die 25 jaar getrouwd  
was en een loterij organiseerde  
om te bepalen welke burens mee  
uit eten mochten. De professor  
had 600 lootjes gemaakt, genum-  
merd van 1 tot 699, met weglating  
van de zevenvouden. De zeven  
buurechtparen mochten ieder één  
lot trekken.

In de gegeven oplossing was een  
berekening opgenomen die ervan  
uitging dat iedere buur het ge-  
trokken lot meteen na trekking  
weer in de hoed deed, zodat  
iedereen die een lot nam steeds  
één uit de 600 zou trekken. Dit  
was niet realistisch. Natuurlijk  
hield iedere buur zijn lot. De be-  
rekenende kansen veranderen daar-



## OPGAVEN &

### PRIJSVRAAG

#### Prijsvraag

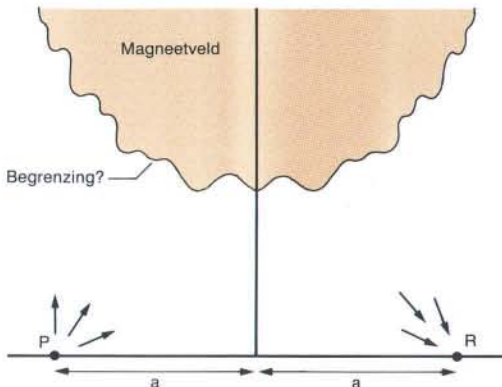
door enigszins. In de gepubliceerde oplossing is bijvoorbeeld de kans om een serie met resten gelijk aan 1 te trekken gelijk gesteld aan  $1/6^6$ . In werkelijkheid is dit

$$\frac{1}{6} \cdot \frac{99}{599} \cdot \frac{98}{598} \cdot \frac{97}{597} \cdot \frac{96}{596} \cdot \frac{95}{594} \cdot \frac{94}{594}$$

Het voert te ver om de hele oplossing hier opnieuw te publiceren. De puzzelredactie dankt de briefschrijvers voor hun opmerkingen. Voor de uitslag maakt deze verbeterde oplossing trouwens

niet uit. De correcte oplossing van onderdeel c wordt bijvoorbeeld 94,5% in tegenstelling tot 94,3%, wat wij als juist publiceerden.

Inzenders die volgens de niet-terugleg-methode werkten en het probleem tot een goed einde brachten, lootten wel mee voor de dagprijs en kregen ook hun punten voor de ladder, zoals de heer de Visschere, één van de briefschrijvers, zich wel zal realiseren nu hij deze maand de ladderprijs in de wacht sleept.



#### De nieuwe opgave

Ionen met lading  $q$  en massa  $m$  verlaten met een snelheid  $v$  het punt P in verschillende richtingen. Een uniform magneetveld dat loodrecht op het vlak van tekening staat, zorgt ervoor dat in bepaalde gevallen de ionen in het punt R terechtkomen. De afstand PR is  $2a$ . De banen van de ionen die van P naar R reizen moeten steeds symmetrisch ten opzichte van de middelloodlijn van PR zijn. Het zal duidelijk zijn dat het magneetveld een speciale begrenzing moet hebben om de ionen van P naar R te krijgen.

Bepaal de formule voor de gren-

zen van het magneetveld en bediscussieer de verschillende (drie) mogelijkheden. Schets de grenzen van de mogelijke magneetvelden. Deze opgave is ons ter beschikking gesteld door de Nederlandse Natuurkunde Olympiade.

Oplossingen moeten uiterlijk 22 augustus op de redactie zijn om mee te dingen naar de lootprijs en om geregistreerd te worden voor de laddercompetitie. Ook met deze opgave zijn maximaal zes punten voor de ladder te verdienen. Adres:

Natuur & Techniek  
Prijsvraag  
Postbus 415  
6200 AK Maastricht

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.  
Telefoon: 043-254044\*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 105,- of 2025 F. (per 1-1-'88)

Prijs voor studenten: f 80,- of 1550 F. (per 1-1-'88)

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang.

TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.



# VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

## Het geheim van de farao

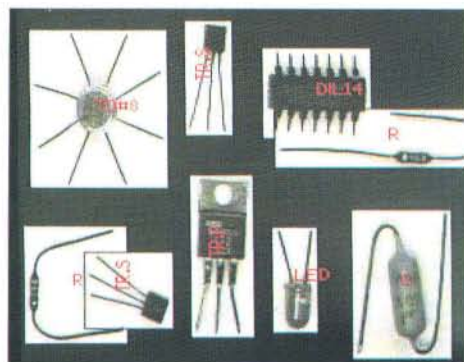
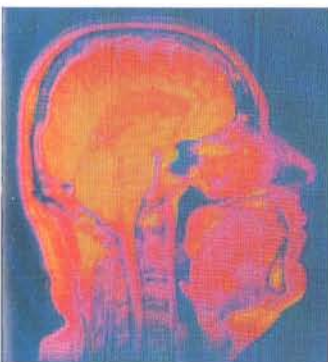
Bevat de piramide van Cheops nog onontdekte ruimten? Het bestaan van een paar gangen en ruimten is al jarenlang bekend. Menige toerist heeft ze al betreden. Drs J. Ver-

meulen onthult hoe een stripverhaal een groep onderzoekers op het spoor van nog onontdekte ruimten bracht en hoe zij er met de modernste middelen naar zoeken.



## Kijkende computers

Een computer die kan zien is een handig apparaat; hij kan voorwerpen herkennen en uitzoeken, zaken in de gaten houden en melden wanneer er iets mis gaat. In de praktijk is een dergelijk apparaat nog niet gerealiseerd omdat de beeldverwerking nog een probleem is. R.J. Ekers geeft de stand van zaken.



## Vogels vliegen

Alle vogels, behalve loopvogels kunnen vliegen, sommige onbeholpen, andere zeer vaardig. Iedere vogel doet het op zijn eigen manier. Albatrossen zweven, valken bidden, duiven klapwieken en kolibries voeren een soort helikopter-vlucht uit. Dr J.J. Videler gaat in op de aerodynamica en de energiekosten van de vogelvlucht.



## Medisch NMR

Tien jaar geleden werd in dit blad nog in twijfel getrokken of we ooit naar het ziekenhuis zouden gaan om een NMR-foto te laten maken. Nu kan dat op elf plaatsen in Nederland en België. Dr P.R. Luijten beschrijft een stormachtige ontwikkeling en vooral de manier waarop een NMR-afbeelding precies tot stand komt.

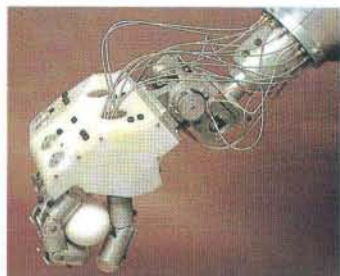
## Tweelingen

Tweelingen vormen een dankbare bron van onderzoek naar de invloed van erfelijkheid en milieu op de vele eigenschappen die samen een mens maken. Drs. D.I. Boomsma, mw W.M.A. Bressers, prof dr A.W. Eriksson en prof dr J.F. Orlebeke over hun onderzoek naar risicofactoren voor hart- en vaatziekten bij tweelingen.



## Geheugenlegeringen

Sommige metaallegeringen veranderen van vorm bij verhitting en keren terug naar de oude vorm bij afkoeling. Omdat daarbij aanzienlijke krachten in het spel zijn, kunnen der-



gelijke legeringen worden gebruikt waar kracht gezet moet worden, bijvoorbeeld in een robotarm. Dr ir J. van Humbeeck beschrijft hoe een en ander werkt.

**SOMMIGE  
SLECHTZIENDEN  
ZIEN DIT.**

**SOMMIGE  
SLECHTZIENDEN  
ZIEN DIT.**

## **SOMMIGE GOEDZIENDEN ZOULDEN DAAR EENS AAN MOETEN DENKEN.**

Zo'n honderdduizend Nederlanders hebben te kampen met slechthooftheid.

Dat is niet zielig, maar wel verdraaid lastig. Want sommige slechthoofden kunnen bijvoorbeeld overdag redelijk goed zien.

Maar 's avonds praktisch geen snars.

Anderen zien een paar vierkante centimeter scherp, maar alles er omheen wazig.

Zo zijn er vele vormen van slechthoof-

heid, waar weinig of niets aan te doen is.

U kunt er wel iets aan doen.

Heel af en toe. Gewoon door begrip te tonen. Of waar nodig een helpende hand uit te steken.

Soms herkent u een slechthoofd aan de button die verkrijgbaar is bij de Nederlandse Vereniging van Blinden en Slechthoofden, Postbus 2344, 3500 GH Utrecht, telefoon 030 - 93 11 41.

